Comisión Chilena de Energía Nuclear
Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

DIRECCIÓN EJECUTIVA

CCHEN (O) Nº 29/086

MAT.: Solicitud AU001T0000902 ingresada a la Comisión Nacional de Energía, el 29/05/18, y derivada a CCHEN-solicitud N°AU003T0000176, el 27/06/18.

Santiago, 5 de julio de 2018

Señor
[redacted]
Presente

Estimado Sr. [redacted]:

En el marco de la Ley Nº 20.285 sobre Acceso a la Información Pública, con fecha 27 de junio de 2018, la Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN, ingresó la solicitud AU003T0000176, derivada desde la Comisión Nacional de Energía mediante solicitud AU001T0000902, presentada por usted, requiriendo la siguiente información:

"En virtud de la ley 20.285, solicito acceso y copia a la siguiente información:
De existir, los siguientes estudios que recomendó hacer el Grupo de Trabajo en Núcleo Electricidad en su Informe "La Opción Núcleo-Eléctrica en Chile" (2007) en las páginas 47-48:

1. *Del ámbito institucional:*

a) *Estudio de la estructura jurídica e institucional existente que rige las actividades relativas a los usos de la energía nuclear tales como su regulación técnica, económica, sanitaria, ambiental e internacional.*
b) *Evaluación social de la inversión pública en regulación, normativa y otros costos públicos asociados a la eventual incorporación de la GNE.*
c) *Estudios conducentes a diseñar y evaluar la implementación del organismo regulador y fiscalizador de la energía nuclear en Chile.*
d) *Diseño y evaluación de costos de la adecuación de la institucionalidad pública necesaria en los escenarios alternativos sin y con GNE. Determinación del momento en que deberían introducirse los cambios para, eventualmente, compatibilizar el actual esquema organizativo de generación eléctrica con la GNE.*

Amunátegui 95 • Casilla 188-D • Santiago, Chile
Fono (56-2) 4702600 • Fax (56-2) 4702598
www.cchen.cl

2. Del ámbito económico:

a) *Estudio de la demanda por electricidad a 30 años, incorporando los posibles efectos de programas de eficiencia energética, desagregados geográficamente y por sector de actividad. Incluir las necesidades de los usuarios tanto domiciliarios como industriales, segmentando adecuadamente el mercado en los usos de la electricidad y en lo geográfico para permitir la incorporación de innovaciones tecnológicas e institucionales adecuadas a la realidad del país que les permitan tener energía segura a costos razonables.*
b) *Análisis de la oferta, la estructura y el funcionamiento del mercado eléctrico, sus actores y productores.*
c) *Estudio de los costos relativos de las diferentes tecnologías para producir electricidad y su dinámica en los próximos 20-30 años. En tamaños de planta, considerando el ciclo de vida completo de los proyectos. Evolución/escenarios de la matriz eléctrica en Chile.*
d) *Estudio para evaluar la competitividad económica de la energía nuclear respecto de otras fuentes de generación y determinar su impacto en otros ámbitos, incluyendo el ambiental y el estratégico (diversificación de matriz energética).*

Análisis de las coberturas/seguros financieros necesarios en un escenario de adopción de la núcleo-electricidad.

3. Del ámbito ambiental y territorial:
a) *Estudio y estimación del potencial de todas las formas de generación eléctrica del país.*
b) *Análisis comparado de impactos ambientales por formas de generación de electricidad considerando el ciclo completo.*
c) *Estudio sobre los instrumentos legales y de la institucionalidad ambiental; sobre ordenamiento territorial y su compatibilidad con la generación núcleo eléctrica.*
d) *Estudio sismológico que complete con un nivel de detalle adecuado la información disponible.*
e) *Estudios generales a nivel nacional para identificar los espacios/territorios potencialmente adecuados para la instalación de reactores nucleares de potencia.*
f) *Estudios relativos a los impactos territoriales estructurales y su costo que se derivan de la instalación de un reactor nuclear de potencia.*

4. Del ámbito de la opinión pública:
a) *Diseño y ejecución de sistemas de consulta y evaluación de la opinión pública.*
b) *DiseñO y ejecución de un programa de información y educación ciudadana acerca de la GNE.*

5. Del ámbito de la salud:
a) *Estudio del marco jurídico y regulatorio de salud (Incluyendo las responsabilidades público y privadas) respecto de los incidentes, accidentes y emergencias derivadas de la operación de una planta, transporte y manejo de combustible y desechos radioactivos.*
b) *Estudio para definir los organismos responsables y la infraestructura necesaria para responder a las emergencias derivadas de la operación de una planta, transporte y manejo de combustible y desechos radioactivos.*

Amunátegui 95 • Casilla 188-D • Santiago, Chile
Fono (56-2) 4702600 • Fax (56-2) 4702598
www.cchen.cl

6. Del ámbito de los recursos humanos:

a) Estudio que permita identificar los recursos humanos necesarios para el desarrollo, operación y mantención de un programa nuclear y de emergencias radiológicas y nucleares para GNE y cuantificar los costos de formación de éstos."

De ser necesaria la autorización de un tercero para dar acceso a la información requerida, le recuerdo que conforme a lo indicado en la ley 20.285 y diversos dictámenes del Consejo para la Transparencia, la autoridad podrá denegar acceso solo si la oposición del tercero se fundamenta en alguna de las causales expresamente señaladas en el artículo 21 de la Ley 20.285.

En virtud del artículo 11 letra e) de la ley 20.285, pido los documentos bajo el principio de divisibilidad, el que señala que si los documentos requeridos contienen al mismo tiempo información que puede ser conocida e información que debe denegarse en virtud de causa legal, se dará acceso a la primera y no a la segunda."

En respuesta a su consulta, informo a usted que los estudios a los que usted hace mención fueron coordinados y licitados por la Comisión Nacional de Energía (CNE) que, posteriormente, derivó en el actual Ministerio de Energía. La Comisión Chilena de Energía Nuclear, no estuvo a cargo de la realización ni coordinación de dichos estudios. Sin embargo, en anexos remito a usted, lo que, bajo nuestro conocimiento, se realizó y corresponde a los estudios que menciono a continuación:

1. Análisis Relativo de Impactos y Riesgos de la Generación Núcleo-eléctrica (Corporación Nuclear Eléctrica Chile S. A, 2009).
2. Caracterización de Riesgos Naturales para el Desarrollo de un Programa Núcleo-eléctrico en Chile (Departamento de Geología Universidad de Chile, 2009).
3. Cost of Nuclear Energy in Chile (MZConsulting, 2010).
4. Estudio de Opciones de ciclo del combustible nuclear (AMEC-CADE, 2009).
5. Roles del Estado y del Sector Privado en la Generación Núcleo-eléctrica (Universidad Adolfo Ibáñez y SENES Consultants Limited, 2008).
6. Análisis y propuesta de regulación núcleo-eléctrica (Systep, 2009)
7. Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional (STUK, 2008).
8. Comunicaciones (2009):
    a. Parte I: "Asesoría técnica en la elaboración de un programa de comunicaciones para avanzar a una toma de decisión informada y participativa sobre el desarrollo de infraestructura nuclear". (Tironi y Asociados, 2009)
    b. Parte II: "Estrategia de Comunicaciones para un Debate sobre Núcleo-electricidad".(Tironi y Asociados, 2009)
9. Requerimientos de adecuaciones del marco legal ante la eventual incorporación de la energía nuclear de potencia (Consorcio Fundación Facultad de Derecho, Universidad de Chile / Barros & Errázuriz Abogados, 2010).

Amunátegui 95 • Casilla 188-D • Santiago, Chile
Fono (56-2) 4702600 • Fax (56-2) 4702598
www.cchen.cl

Comisión Chilena de Energía Nuclear

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

De no encontrarse conforme con la respuesta precedente, en contra de esta resolución, usted podrá interponer amparo a su derecho de acceso a la información, ante el Consejo para la Transparencia dentro el plazo de 15 días hábiles, contados desde la notificación de la misma.

Saluda atentamente a usted,

COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR
DIRECCION
CHILE
EJECUTIVA
SANTIAGO

MAURICIO LORCA MIRANDA
Director Ejecutivo (S)
Comisión Chilena de Energía Nuclear

BNA/GVH/vaf

Amunátegui 95 • Casilla 188-D • Santiago, Chile
Fono (56-2) 4702600 • Fax (56-2) 4702598
www.cchen.cl

Análisis Relativo de Impactos y Riesgos de la Generación Núcleo-Eléctrica

Documento Final

Corporación Nuclear Eléctrica Chile S. A.

Santiago de Chile, Junio de 2009

Viktor Filichkin

Gerente General del Proyecto

Presidente de la Corporación Nuclear Eléctrica Chile S. A.

Anatole Gubin Uliantzeff

Gerente del Proyecto en Chile

Director General de la Corporación Nuclear Eléctrica Chile S. A.

Sergei Pegov

Jefe del Proyecto en Rusia

Director de AtomProm de ROSENERGOATOM

Manuel Cadavid Rodríguez

Jefe del Proyecto en Chile

Corporación Nuclear Eléctrica Chile S. A.

ROSENERGOATOM

Federación de Rusia

INDICE

1.1. La situación energética mundial 19
1.2. Los recursos energéticos 23
1.2.1. Recursos no renovables 25
1.2.1.1. Carbón.....26
1.2.1.2. Gas natural 29
1.2.1.3. Petróleo.....31
1.2.2. Recursos renovables 33
1.2.2.1. Energía solar 35
1.2.2.2. Energía eólica.....38
1.2.2.3. Energía hidráulica.....40
1.2.2.4. Energía de las afluencias 41
1.2.2.5. Energía nuclear.....42
1.3. La situación energética de Chile 44
2.1. Aspectos generales.....52
2.2. El combustible nuclear.....62
2.2.1. Perspectivas para el uso del Uranio 62
2.2.2. Perspectivas del uso del Torio 66
2.3. Tipos de centrales nucleares 69
2.4. Proyectos en desarrollo.....75
2.5. La industria nuclear rusa 83
2.5.1. Reactores de gran potencia 83
2.5.1.1. Reactor VVER – 1000 83
2.5.1.2. Reactor VVER – 1200 84
2.5.1.3. Reactores MKER 86
2.5.2. Reactores de mediana potencia 87
2.5.2.1. Reactor VVER-440.....88
2.5.2.2. Reactor ASER-300.....89
2.5.2.3. Reactor VK-300 (calefacción).....90
2.5.3. Reactores de baja potencia 91
2.5.3.1. Modelos SVVER-75/100, VVER-150 y KLT-40C 91
3.1. Principales requerimientos de seguridad en las centrales nucleares 102
3.2. Clasificación de incidentes y accidentes 107
3.3. Los accidentes más relevantes de la industria nucleo-energética..... 111
3.3.1. Three Mile Island 111
3.3.2. Chernobyl 112

3.4. Colaboración internacional..... 115
3.5. Principios fundamentales para garantizar la seguridad en las centrales nucleares..... 117
3.6. La seguridad en las centrales nucleares modernas 119
3.6.1. Seguridad radiológica de las centrales nucleares..... 123
3.6.2. Seguridad en la gestión de los desechos radioactivos 130
3.6.3. Garantías de seguridad en las principales etapas del ciclo vida de la central nuclear 131
3.6.3.1. Garantía de seguridad pública respecto al emplazamiento de la central nuclear 132
3.6.3.2. Garantía de seguridad en la etapa de diseño de la central nuclear 133
3.6.3.3. Garantía de seguridad en la etapa de construcción de la central nuclear134
3.6.3.4. Garantía de seguridad en la etapa de operación de las centrales nucleares..... 135
3.6.3.5. Garantía de seguridad en la etapa de desmantelamiento de las centrales nucleares..... 138
3.7. Plan de emergencia nuclear 140
4.1. Características generales 147
4.2. El combustible nuclear..... 153
4.2.1 El Uranio enriquecido..... 153
4.2.2. El combustible en la central nuclear 155
4.2.3. Desechos radioactivos 155
4.2.3.1. Clasificación de los desechos radioactivos..... 157
4.2.4. Ciclo abierto y ciclo cerrado 158
4.3. Industria internacional del Uranio..... 159
4.4. Minerales alternativos al Uranio 164
4.5. Aspectos de la no proliferación de materiales nucleares..... 166
4.6. Aspectos ambientales y de seguridad del ciclo de combustible nuclear 167
5.1. La Autoridad Reguladora Nuclear Nacional 180
5.2. El marco jurídico nacional..... 183
5.2.1. Principio de seguridad tecnológica 184
5.2.10. Principio de cooperación internacional 191
5.2.2. Principio de seguridad física 185
5.2.3. Principio de responsabilidad 186
5.2.4. Principio de autorización 187
5.2.5. Principio de control 187
5.2.6. Principio de indemnización..... 188
5.2.7. Principio de desarrollo sostenible..... 188
5.2.8. Principio internacional de cumplimiento..... 189
5.2.9. Principio de transparencia..... 189
5.3. Proceso de aprobación del marco jurídico..... 192

5.4. Convenciones y tratados internacionales 193
5.4.1. Convención sobre Seguridad Nuclear y Convención Conjunta 194
5.4.2. Convenciones sobre Asistencia y Sobre pronta Notificación 194
5.4.3. Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radiactivos..... 195
5.4.4. La Convención Conjunta 195
5.5. Salvaguardias para el uso pacífico de la energía nuclear 199
5.6. El licenciamiento para las centrales nucleares 203
5.7. La experiencia de la Federeación de Rusia..... 205
5.7.1. Rosenergoatom..... 205
5.7.2. La Autoridad Reguladora de Rusia 208
5.7.3. Otorgamiento de licencias en Rusia 210
5.7.4. Permisos y certificaciones para la ejecución de los trabajos en la central nuclear 211
5.7.5. Responsabilidades y obligaciones de la entidad explotadora 211
6.1. Etapas y criterios, , ... 218
6.2. Metodología para la Selección del Emplazamiento..... 221
6.2.1. Selección 222
6.2.2. Etapa de Caracterización 222
6.2.3. Etapa Pre operacional 224
6.2.4. Etapa Operacional 224
6.3. Características de los emplazamientos relacionadas con la seguridad y no relacionadas con la seguridad 224
6.3.1. Características relacionadas con la seguridad..... 225
6.3.2. Criterios a considerar no relacionados a la seguridad 226
6.4. Factores socioeconómicos a considerar 227
6.4.1. Red de distribución eléctrica 227
6.4.2. Condiciones de transporte..... 228
6.4.3. Condiciones sociales 228
6.4.4. Información respecto a la región..... 228
6.5. Factores naturales que limitan la elección de un emplazamiento..... 228
6.5.1. Los factores que prohíben 229
6.5.1.1. Agua..... 229
6.5.1.2. Geológicos 229
6.5.2. Los factores que limitan..... 229
6.5.2.1. La sismicidad..... 229
6.5.2.2. Los recursos hídricos disponibles..... 231
7.1. Consideraciones de carácter general 239
7.2. Comparación del impacto ambiental entre las diferentes fuentes de energias242
7.3. Emisiones y contaminación térmica..... 251
7.4. Impacto al patrimonio cultural 255
7.5. Desechos 256

7.5.1. Los desechos radioactivos 258
7.5.1.1. Desechos radioactivos producidos por las centrales nucleares. 260
7.5.1.2 Tratamiento de los desechos radioactivos..... 262
8.1. Ventajas económicas de la energía nuclear 273
8.2. Costos de la construcción y operación de las centrales nucleares 275
8.2.1. La tasa de descuentos 277
8.2.2. Inversiones de capital 278
8.3. Costos y riesgos de operación 292
8.3.1. Riesgos de operación..... 292
8.3.2. Costos de operación..... 293
8.4. Coeficiente de utilización de la potencia instalada (Factor de Planta)..... 296
8.5. Costos de desmantelamiento 298
8.6. Costos medioambientales..... 299
8.7. Incentivos para proyectos de construcción de nuevas centrales nucleares 300
8.8. Usos no eléctricos de los reactores nucleares 302
9.1. Desarrollo de los recursos humanos, científicos y pedagogicos 307
9.1.1. Indicadores cuantitativos y especialidades..... 309
9.2. Formación de trabajadores previo al inicio de operaciones 314
9.3. El Centro de Enseñanza y Entrenamiento..... 316
10.1. Significado social..... 319
10.2. Aceptabilidad social de la energía nuclear 323
10.3. Impacto laboral..... 326
10.4. Riesgo subjetivo y objetivo..... 327
10.5. La influencia de la energía nuclear en la salud de las personas..... 334
11.1. Consideraciones generales 353
11.2. Análisis de los riesgos asociados a las diferentes fuentes de energía 357
11.2.1. Riesgos relacionados con las fuentes de energías renovables..... 357
11.2.2. Riesgos relacionados con las fuentes de energía fósiles..... 357
11.2.3. Riesgos relacionados con la energía nuclear 358
11.2.3.1. Riesgo de un accidente nuclear severo..... 360
11.2.3.2. Desechos radioactivos 363
11.2.3.3. No proliferación y seguridad física 363
11.2.3.4. Riesgos de la actividad sísmica 364
11.2.3.5. Riesgo asociado al terrorismo..... 365
11.2.3.6. Otros riesgos..... 368
11.2.3.6.1. Riesgo económico como consecuencia del retardo de la ejecución del proyecto. 368
11.2.3.6.2. Riesgos comerciales 370
11.2.3.6.3. Riesgo de la política vigente y de regulación 371
11.2.3.6.4. Riesgo por el agotamiento de las reservas de los diferentes tipos de combustibles 371

11.2.3.6.5. Marco Regulatorio 373
11.2.3.6.6. La no existencia de los recursos humanos calificados 374
11.2.3.6.7. Riesgo geopolítico asociado a la ubicación de los recursos energéticos374
11.2.3.6.8. Riesgo de suspensión del suministro de combustible nuclear a la central nuclear 375
Conclusiones Generales 381

Introducción

I. Antecedentes

La energía, en particular la electricidad, es esencial para el desarrollo económico y social de los pueblos y un factor clave en la calidad de vida de las personas. Se trata de un recurso de primera necesidad sin el cual la mayoría de las actividades humanas no serían posibles actualmente. Es un hecho que nuestra civilización es por entero dependiente de las fuentes de energía y su uso cotidiano nos parece tan natural y sencillo que cuesta trabajo asimilar el hecho de que los niveles mundiales de suministro que se alcanzaron durante el siglo pasado ya no son sostenibles. La verdad es que durante este siglo la problemática energética se presenta en la necesidad de favorecer y garantizar el acceso a la energía para todos, reduciendo al mismo tiempo la amenaza ambiental del cambio climático, provocado por las emisiones antropogénicas de $CO_{2,}$ y enfrentando las consecuencias sociopolíticas provocadas por el aumento de los precios de la energía y la progresiva carencia de fuentes de abastecimiento.

Chile, al igual que otros países del mundo, deberá enfrentar estos desafíos para satisfacer la demanda de energía de todas las ramas de actividad (industria, agro-pesca, servicios hogares, transporte, etc.) garantizando además su desarrollo sustentable. Pero a estos imperativos se duma otro no menos desafiante, cual es contar con estándares de seguridad energética a la altura de los desafíos. La dependencia de fuentes externas –el país importa casi tres cuartas partes de la energía que consume- lo pone en una situación altamente vulnerable, en un contexto internacional caracterizado por la alta volatilidad en los precios de los insumos e interrupciones en el suministro. Por ello, el país está impulsando varias acciones de corto y mediano plazo en el marco de una ambiciosa pero realista política de seguridad energética con miras a diversificar su matriz, lograr mayores grados de autonomía y promover un uso eficiente de la energía.

En este contexto surge la posibilidad de incluir la energía nuclear dentro del menú de opciones para satisfacer la demanda eléctrica. De acuerdo con estimaciones realizadas por la Comisión Nacional de Energía, la demanda eléctrica se duplicará hacia el 2023 y triplicara hacia el 2032 en un escenario conservador, con un crecimiento anual de una 4,6%. De mantenerse la tasa de crecimiento histórico (5.6%), estos plazos se reducen al 2021 y 2028, respectivamente.

Por ello, aunque el Gobierno actual de Chile no tomará una decisión con respecto a iniciar un programa de desarrollo núcleo-eléctrico en el país, si ha expresado la voluntad de

comenzar con los estudios que reúnan los antecedentes necesarios para que la próxima administración pueda tomar decisiones bien fundamentadas acerca de la conveniencia de incluir o no la opción nuclear dentro de la matriz energética.

Así, en 2007 el Gobierno conformó un Grupo de Trabajo que se encargaría de hacer una primera evaluación de esta opción. En Septiembre de ese año el informe "La Opción Núcleo-Eléctrica en Chile" presentado al Gobierno y, entre sus conclusiones, estableció que:

- Chile debe mantener abiertas todas las opciones energéticas. La energía nuclear no es una opción a descartar, y podría cooperar a la seguridad del suministro eléctrico;
- la energía nuclear es una opción confiable, por los niveles de seguridad que ha alcanzado su industria, pero exige preocupación, disciplina y rigor permanentes; y
- la experiencia internacional muestra a la energía nuclear como una opción competitiva, especialmente ante los actuales precios de los combustibles fósiles en los mercados internacionales.

Además, el informe recomendó la realización de diferentes estudios vinculados con esta tecnología cuya información constituirá una base indispensable de consulta para la etapa de toma de decisiones.

Dentro de estos estudios se encuentra el que se presenta en este documento: "Análisis relativo a los Impactos y Riesgos de la Generación Núcleo-Eléctrica", ejecutado por la Corporación Nuclear Eléctrica Chile S. A., en estrecha coordinación con ROSATOM.

II. Objetivos

El objetivo del Estudio es establecer desde la perspectiva económica, social y ambiental los beneficios, costos y riesgos que pueda tener un eventual desarrollo núcleo-eléctrico en Chile, en comparación con otras opciones de generación eléctrica.

Objetivos Específicos:

1. Identificar y describir sistemáticamente los potenciales impactos y riesgos económicos, sociales, ambientales y territoriales de un eventual desarrollo de un

programa núcleo-eléctrico en Chile en comparación con otras opciones de generación eléctrica.

2. Establecer órdenes de magnitud de los potenciales impactos y de los riesgos que involucra la generación núcleo-eléctrica en comparación con otras alternativas de generación eléctrica en Chile.

III. Alcance

A través de la recopilación de diversos estudios y fuentes de información existentes, así como de la experiencia acumulada en la energía nuclear por las instituciones rusas anteriormente mencionadas, este documento proporciona información relevante y resumida sobre los impactos y riesgos que están presentes en el desarrollo de un programa nacional para la introducción de la energía nuclear para la generación de electricidad, así como su comparación con otras fuentes tradicionales de generación eléctrica, incluyendo las energías renovables. En su desarrollo se abordan aspectos económicos, sociales, ambientales, institucionales y técnicos, que pueden ser usados en apoyo a la toma de decisión.

IV. Estructura

Los temas analizados en este estudio abarcan: la situación actual y perspectiva del sector de la energía en mundo y de la generación núcleo eléctrica, los tipos de reactores que actualmente se encuentran en explotación y su desarrollo perspectivo, la seguridad nuclear, el ciclo del combustible nuclear, la generación, conservación y almacenamiento de los desechos radioactivos, la ubicación de la central nuclear, los aspectos ambientales, económicos y sociales de las diferentes fuentes de energía analizadas en el estudio, así como los riesgos asociados, la regulación y el controlador.

El consultor ha estructurado el estudio en tres partes. En la primera parte, se proporciona información de carácter general que le permite al lector interiorizar diversos aspectos relacionados con la energía convencional y la de origen nuclear, con el fin de permitir en capítulos posteriores un análisis de las opciones con el mismo nivel de información y referencia. En particular, se abordan los temas relacionados con la situación actual y perspectiva que presenta el sector de la energía a nivel mundial, los recursos energéticos disponibles para cubrir el pronóstico de la creciente demanda de energía y los aspectos

medioambientales que hay que considerar en el uso de un recurso u otro para la generación de energía eléctrica. Asimismo, se describe la situación actual y perspectiva de la energía nuclear, los diferentes tipos de reactores nucleares, los suministradores principales de esta tecnología y la potencia de los bloques disponibles en el mercado internacional. La seguridad nuclear, aspecto importante en este tipo de generación, es otro de los aspectos que se aborda en el estudio. En esta parte se definen, en primera instancia, los elementos esenciales de la seguridad nuclear y los sistemas de control y protección de los reactores nucleares. Se describen las averías y las medidas para su prevención y, de manera resumida, se explican los dos únicos accidentes relevantes de la industria nucleoeléctrica a nivel mundial: el de Three Mile Island, Estados Unidos (1979) y el de Chernobyl, Ucrania (1986).

Posteriormente, se trata aspectos asociados al combustible nuclear y su ciclo. Este tema se trata con este nivel de preponderancia dado que corresponde a uno de los aspectos que presenta mayores desafíos a la industria nuclear y uno de los aspectos de mayor inquietud y menores antecedentes por parte de la opinión pública. En particular, se enmarcara en los riesgos que están presentes en el ciclo del combustible nuclear, la cantidad de combustible que se utiliza, el volumen, conservación y almacenamiento de los desechos radioactivos que se genera durante su reprocesamiento y la utilización de estos últimos en el ciclo del combustible nuclear. Finalmente, se abordan los problemas relacionados con la no proliferación de los materiales nucleares y los aspectos ambientales y de seguridad del ciclo del combustible nuclear.

Por último, en esta primera parte del estudio se abordan diferentes aspectos relacionados con la Autoridad Regulador Nacional, entidad responsable ante el Estado para garantizar el desarrollo de un programa de generación nucleoeléctrica con estricto cumplimiento de las normas que garantizan la seguridad operacional de este tipo de instalación. Este capítulo se redacta por especial encargo del mandante del estudio, y a juicio del consultor resulta uno de los aspectos de mayor impacto social y ambiental de un programa nuclear, dado el rol que cumple la Autoridad Reguladora Nacional, en generar externalidades en la sociedad y en el ambiente, a través del aumento de conocimiento de la radiaciones ionizantes y no-ionizantes en áreas como la salud, industria, educación, investigación y energía.

La segunda parte, se centra en el tema fundamental del estudio: la evaluación del impacto y los riesgos que posee la generación nucleoeléctrica y su comparación con otras fuentes de energía: fósiles (petróleo, gas y carbón), la energía hidroeléctrica y las energías renovables no convencionales (eólica y solar). Así en el capítulo 6 se hace una comparación del impacto ambiental que tienen las diferentes fuentes de energía relacionadas con este estudio[1], se

[1] De acuerdo con el sección 6.1 tercera pleca: En el ámbito ambiental: Magnitud de las emisiones de gases de efecto invernadero que evita la generación con plantas núcleo-eléctricas, en

describe el tipo y volumen de los desechos radioactivos que se producen durante la operación de la central nuclear, su tratamiento y almacenamiento, e incluye una valoración de los riesgos ecológicos y su minimización. En el capítulo 7 se recogen los aspectos fundamentales relacionados con la selección del emplazamiento [2], aspecto que está directamente relacionado con impactos de tipo ambiental, social y económico de la región donde se decida la construcción de una central nuclear.

Los aspectos económicos vinculados con la opción nucleoeléctrica y su comparación con otras formas de generación de electricidad serán presentadas en el capítulo 8 del estudio[3]. Este capítulo responde a la inquietud del mandante de investigar acerca de los costos de producción de la generación núcleo-eléctrica. La participación de la industria nacional en el desarrollo de la núcleo-energía, la innovación tecnológica y el uso de la energía nuclear en otras actividades industriales son parte del análisis que se presenta, reflejando los principales impactos sociales de la energía nuclear en el país que la decide implementar.

Un papel importante durante todas las etapas de un programa de desarrollo nucleoeléctrico, lo constituye la disponibilidad y preparación del personal. Así, en el capítulo 9 se presenta la cantidad y especialidades que son necesarias durante la construcción y en la operación de una central nuclear, así como su comparación con otras formas de generación de electricidad[4]. La calificación y recalificación del personal durante la operación en un centro

---

comparación con plantas generadoras convencionales, medidas en toneladas de CO2 equivalentes evitados por cada millón de kWh generado por las plantas núcleo-eléctricas.

[2] De acuerdo con el punto 6.1 cuarta pleca: En el ámbito territorial: Magnitud del área de influencia de las plantas núcleo-eléctricas comparada con plantas generadoras convencionales y CG-ERNC.

[3] De acuerdo con el sección 6.1 primera placa de los términos de referencia de la licitación: En el ámbito económico: Participación que la generación núcleo-eléctrica puede tener en la matriz energética del sector eléctrico de Chile. En particular, el Consultor realizará una comparación del costo anual promedio de producción del kWh núcleo-eléctrico estimado para diversos tipos y tamaños de plantas nucleares vis-a-vis centrales generadoras convencionales y centrales generadoras que utilizan energías renovables no convencionales (CG-ERNC), tomando en cuenta los costos de inversión (considerando tiempos de construcción), operación, combustible, desmantelamiento y vida útil y factor de planta anual con un costo de oportunidad del dinero de 10% anual.

[4] De acuerdo con el sección 6.1 segunda pleca de los términos de referencia de la licitación: En el ámbito social: Beneficios para el país que un programa núcleo-eléctrico y la introducción de la tecnología nuclear pueden tener sobre la seguridad del servicio eléctrico, el desarrollo y empleo de los recursos humanos (académicos, profesionales, trabajadores en general) y sobre las oportunidades de innovación para la industria nacional.

de entrenamiento propio de la central con simulador a plena escala del bloque. Este capítulo refleja la alta especialización que deben poseer los recursos humanos que están vinculados al desarrollo de un programa de este tipo, siendo este tema otro de los grandes aportes e impactos a la sociedad de la industria nuclear, y al mismo tiempo uno de los mayores riesgos si el país no es capaz de desarrollar u obtener dichos recursos humanos a tiempo.

Con una evaluación del impacto social y la calidad de vida de la población en las cercanías del emplazamiento de la central nuclear se presenta el capítulo 10[5]. Incluye además un análisis de la influencia de la central nuclear en la salud de la población, una comparación con otras fuentes de generación de electricidad así como, las vías para la minimización de los riegos.

En la tercera parte del informe se presentan las conclusiones del estudio y una tabla resumen con la presentación de la comparación de los impactos ambientales, económicos y sociales de las diferentes fuentes de energías analizadas en el estudio, así como los riesgos vinculados a cada una de estas fuentes[6].

V. Metodología utilizada

En el desarrollo de este estudio se utilizan los conceptos de impacto y riesgo. Estos conceptos se definen como:

- **Impacto**: técnicamente, es la alteración de la línea de base (medioambiente), debido a la acción antrópica o a eventos naturales.

- **Riesgo:** es la contingencia de un daño. A su vez contingencia significa que el daño en cualquier momento puede materializarse o no hacerlo nunca.

Para la realización de este estudio se utilizaron los siguientes puntos de partida:

[5] Ídem a la referencia anterior.

[6] De acuerdo con el sección 6.2 de los términos de referencia de la licitación: El Consultor entregará un inventario de los riesgos que plantea un programa núcleo-eléctrico y de los costos de la mitigación de sus posibles impactos en los ámbitos económicos, sociales, ambientales y territoriales, los describirá en detalle, elaborará indicadores para medirlos, y los comparará con los riesgos de otras fuentes de generación eléctrica.

1) Las fuentes de generación de electricidad que se serán comparadas con la nucleoeléctrica son:

    - Carbón
    - Gas Natural
    - Petróleo
    - Hidráulica (solo embalses)
    - Energías renovables no convencionales: Solar y Eólica

2) Para todas estas tecnologías se evaluará el equivalente a una potencia instalada total de 1.000 MW.

3) Como la tecnología base para ser utilizada por la generación nuclear, se considero el reactor de agua ligera a presión (LWR). Esta selección se debe a que, según datos del OIEA, a Julio del 2008, 265 reactores (60%) de los 439 en operación actualmente son de esta tecnología, por lo que se considera la mas expandida en el mundo. En caso de que fuera necesario, se destacará cuál diferencia que existiera con el resto de las tecnologías para este tipo de generación.

VI. Usuarios

Este estudio será de interés para los que establecen políticas y analistas en los sectores energéticos, económicos, políticos y científicos, los formadores de la opinión pública, así como aquellos miembros de la comunidad interesados en la temática energética, especialmente en la generación núcleo-eléctrica.

Preámbulo

En la actualidad con el crecimiento de la población y el rápido desarrollo de la economía de los países, el papel del complejo de combustible y energía, que es la base de la producción y el crecimiento del bienestar público de los pueblos, son factores que tienen una importancia muy significativa. El hecho de que la humanidad llegó a tener en su disposición grandes cantidades de la energía aseguró en parte considerable los avances de la industrialización y el desarrollo de la sociedad. Sin embargo, la generación de energía eléctrica, solamente en base a fuentes de energías fósiles, se ha hecho peligrosa. Además de los impactos locales medioambientales que se acompañan de la contaminación del aire, el agua y el suelo, hay un peligro en el cambio del clima mundial, a causa del efecto invernadero.

Es evidente que no puede sostenerse que existe alguna fuente energía sin impactos para el medio ambiente. El uso de cada tecnología se acompaña, inevitablemente, de la contaminación térmica del medioambiente, la polución atmosférica con las sustancias tóxicas y CO_2 y la desfiguración de los campos electromagnéticos naturales.

La comunidad mundial está ante el dilema: por un lado, sin energía eléctrica es imposible asegurar el bienestar de la sociedad y, por otro lado, el mantenimiento de los ritmos actuales del crecimiento de su producción a base de las fuentes tradicionales puede llevar a la destrucción del medioambiente, lo cual traería como consecuencia un violento descenso en la caída del nivel de vida, cambios serios en los ecosistemas e incluso daños insospechados en la población humana, como eventuales influencias sobre el código genético.

La experiencia ha demostrado que estas consecuencias negativas tienen lugar cuando los argumentos tecnológicos y económicos priman sobre las exigencias sanitarias, higiénicas y ecológicas.

La contaminación del medioambiente y la aparición de nuevas categorías de riesgo son el resultado de los procesos tecnológicos, indudablemente. En la actualidad esta es una preocupación prioritaria: el desarrollo de cualquier nueva tecnología se acompaña no sólo por la evaluación de las ventajas económicas correspondientes, sino que también conlleva el análisis de los riesgos y las consecuencias negativas que podrían surgir del proceso.

Por eso determinar los niveles de “riesgo aceptable” representa un problema muy difícil, tanto económico, político y social, como tecnológico.

En la metodología riesgo-utilidad existen muchos elementos indeterminados. Por eso se usa el enfoque equilibrado de solución de las tareas científicas, legislativas, sociales y jurídicas, el cual ha mostrado funcionar de manera positiva en la práctica.

En nuestra opinión el criterio más acertado es el de tolerancia del riesgo: el riesgo aportado con la aplicación de la nueva técnica puede considerarse socialmente aceptable si uno de los efectos finales útiles del uso de la nueva técnica es la reducción del riesgo sumario al que se somete la gente. Si resulta que el riesgo adicional aportado por la nueva técnica no se compensa por la disminución adicional de otros riesgos y, por el contrario, el riesgo en total crece, es razonable considerarlo como socialmente inaceptable y se deben introducir medidas adicionales de seguridad o bien rechazar por completo su aplicación.

Las sustancias contaminantes del medioambiente por sí mismas influyen con frecuencia negativamente en el fomento de la industria siendo esas mismas materias resultado o derivados de ésta. Por eso, al evaluar la correlación entre utilidad y daño es necesario también tener en cuenta este aspecto del impacto de los contaminantes, quiere decir que la evaluación debe hacerse en base a un enfoque integral, tomando en cuenta los siguientes factores:

- El daño aceptable al medioambiente, tomando en cuenta la reducción de eficiencia de la tecnología.
- La influencia de la variación de los parámetros de la tecnología en el proceso de producción.
- Los gastos crecientes para fines de reconstitución y mantenimiento de la calidad del medioambiente y la renovación de sus recursos.
- Las pérdidas de la sociedad causados por daños a la salud de las personas.
- Las pérdidas del trabajo invertido en la parte no utilizada y por lo tanto la devolución al medioambiente de los recursos en forma de energía y recursos degradados.

La crisis energética mundial marcó una etapa de cambio radical en las opiniones sobre la opción nuclear para la generación de electricidad. En la actualidad es ampliamente reconocido el hecho de que entre todos los problemas vinculados al desarrollo de la energía nuclear - económicos, políticos, sociales, técnicos -los más complicados son los asociados al riesgo y al pronóstico de las consecuencias biológicas del impacto de los radionúclidos en el medioambiente.

Conforme al concepto de riesgo admisible, si el valor del riesgo por cualquiera actividad es superior al valor aceptable, dicho riesgo ha de ser reducido. En caso contrario tal actividad debe ser prohibida. En calidad del valor admisible del riesgo individual de tal o cual

actividad para la población, varias organizaciones internacionales y nacionales proponen aceptar el valor de $1{\cdot}10^{-6}$ (un evento por 1.000.000) al año, el cual se corresponde con el riesgo de pérdida por causa de cataclismos. Tal riesgo no implica habitualmente objeciones por parte de la sociedad.

La comparación entre el valor recomendado de riesgo admisible $1{\cdot}10^{-6}$ por año y el valor de riesgo para la población de la operación de la Central Nuclear, que representa $0{,}2.10^{-6}$ por año, se ajusta a estas exigencias de seguridad.

En función del valor del riesgo la actividad profesional se clasifica por su grado de seguridad (Tabla 1.)

Tabla 1- *Clasificación de las condiciones de actividad profesional*

Categoría	**Condiciones de la actividad**	**Rango de riesgo de muerte personas por año**
I	Seguro	$<1{\cdot}10^{-4}$
II	Relativamente peligroso	de $1{\cdot}10^{-4}$ a $1{\cdot}10^{-3}$
III	Peligroso	de $1{\cdot}10^{-3}$ a $1{\cdot}10^{-2}$
IV	Especialmente peligroso	$>1{\cdot}10^{-2}$

Esta clasificación en cierto modo es condicional, pero permite comparar las condiciones de la actividad profesional en distintas industrias, especialmente en las nuevas ramas productivas y sobre esta base juzgar del riesgo adicional vinculado al nuevo tipo de la actividad profesional.

La investigación realizada del análisis de las ventajas y los riesgos del uso de la energía nuclear, su lugar y su papel en el equilibrio energético de los principales países será examinada detalladamente en este estudio.

Parte I

Consideraciones de carácter general

En esta primera parte del estudio recoge la información relacionada con la situación del sector de la energía en el mundo y las diferentes fuentes de energía con que se cubre la demanda actual y perspectiva, los aspectos fundamentales para comprender lo que significa la industria nuclear en el mundo y se brinda la experiencia que posee la Federación de Rusia en más de 50 años de construcción y operación de centrales tanto en internacional como nacional.

Esta parte contiene 5 capítulos: Energía, Energía Nuclear, Seguridad Nuclear, Ciclo del Combustible Nuclear y la Autoridad Reguladora Nacional.

Capítulo 1

Energía

1.1. La situación energética mundial

En menos de un año el ritmo de la economía internacional, que parecía ser capaz de mantenerse indefinidamente creciendo de manera sostenida hacia la prosperidad, sufrió uno de los colapsos más graves de la historia. Hasta antes de eso cada vez más países se sumaban a la senda de un rápido desarrollo, y consecuentemente, el consumo de energía crecía. Pero la llegada de la crisis financiera mundial ha cambiado radicalmente la situación. La economía de la mayoría de las naciones se encontró de pronto en condiciones muy severas, con déficit de medios financieros, desempleo elevado y evidentes signos de recesión.

Es evidente el hecho de que la energía no es sólo la base de la economía moderna, sino también de la misma civilización moderna. Ninguna economía puede desarrollarse sin disponer de adecuadas fuentes de energía y esto no depende ni del sistema político, ni del nivel del desarrollo del país. Tal declaración es justa para la economía planificada, así como para la economía de mercado, para los países desarrollados y en vías de desarrollo.

En este contexto otra vez surge la antigua pregunta respecto a la racionalidad de las decisiones políticas y la responsabilidad del Estado en el bienestar de la población, teniendo en cuenta que el aumento de la eficiencia energética y el ahorro de este recurso pueden contribuir al descenso del consumo específico de determinadas fuentes de generación, pero no al descenso del consumo en cifras absolutas.

Para los países desarrollados de Occidente el abastecimiento regular a partir de diversas fuentes energéticas es una condición clave para la conservación de su economía y el alto nivel de vida alcanzado. Para los países en vías de desarrollo de Asia y América del Sur es una condición necesaria para su crecimiento progresivo y el aumento del nivel de vida de su población. Debido a esto, la seguridad energética siempre fue y será un objetivo fijo de atención política y de planificación estratégica. En el encuentro del G-8 en San Petersburgo, Rusia, realizado en julio de 2006[7], este tema fue central, vinculado además con el cambio dramático de la situación mundial, evidenciado en que el desarrollo de los recursos básicos

[7] Declaración de los Presidente del “Grupo de los 8”, San Petersburgo 17 Julio del 2006.

se retrasa fuertemente en comparación con la dinámica de la demanda, tendencia que se manifiesta de manera más contundente en el mercado del petróleo.

En realidad, el mundo ha entrado en una crisis energética de escala global cuya solución no es evidente, ya que mientras el consumo va siempre en aumento, las posibilidades de las tecnologías disponibles y los recursos naturales son objetivamente limitadas. Está claro que es necesario unir el equilibrio energético con la producción de combustibles y el consumo. En caso contrario, los países desarrollados no podrán conservar el nivel de desarrollo que hoy ostentan y aquellas naciones en vías de desarrollo verán truncadas las esperanzas de lograr sus objetivos.

A excepción del último año (2008), a lo largo de algunas décadas la demanda de fuentes energéticas en el mundo creció a ritmos por encima de las posibilidades de la oferta. La mayoría de los analistas de este sector predicen que continuará este crecimiento, basados en el crecimiento de las economías emergentes y en que continúa, aunque a un ritmo más moderado, el crecimiento de la demanda de fuentes energéticas en los países desarrollados. Por ejemplo, según los datos de la Agencia Internacional Energía (AIE), hacia 2030 la demanda global de fuentes energéticas crecerá en el mundo más de un 50 % (Figura 1.1). Al mismo tiempo, el crecimiento de la oferta en los mercados mundiales disminuirá.

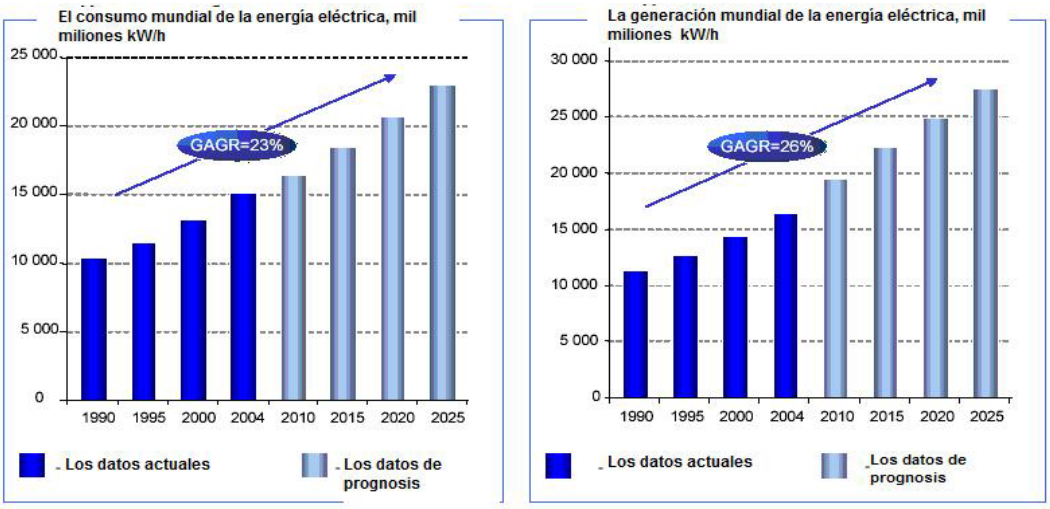


Figura 1.1 - *Consumo y producción mundial de energía eléctrica (mil millones KW/h)*[8].

[8] Energy Information Administration, International Energy Outlook 2007

El resultado del desbalance surgido entre demanda y oferta es el rápido crecimiento de la tasa de precios de los hidrocarburos en los últimos años, con un nivel máximo en el verano del 2008 (ver Tabla 1.1). Su ulterior caída, en relación a la actual crisis financiera internacional en la segunda mitad de 2008, ha obligado a los países exportadores de energía a iniciar una considerable disminución de los volúmenes de suministros para lograr, en un futuro cercano, nuevas alzas sostenidas en su precio, ya que precios inestables constituyen una amenaza, tanto a la economía mundial en su totalidad como a cada país por separado.

Tabla 1.1 - *Dinámica de precios por tipo de combustible básico desde el 2003 a septiembre de 2008*[9].

Combustible	2003	2004	2005	2006	2007	2008			
						I Sem.	Jul.	Ago.	Sep.
Petróleo medio ponderado (APSD*, (USD/barr.)	28,90	37,73	53,39	64,29	71,12	108,14	132,83	114,57	99,66
Gas natural, medio ponderado, Europa, Frontera Francesa (USD/MMBTU)	3,91	4,28	6,33	8,47	8,56	11,63	14,37	14,64	14,85
Carbón, FOB Newcastle, Australia, (USD/t)	27,84	52,95	47,62	49,09	65,73	126,33	180,0	158,40	150,0
Concentrado Uranio U_3O_8 (USD/libra)**	11,20	18,00	27,90	47,70	99,20	71,25	61,80	64,50	63,00

**En base a las cotizaciones medias diarias: Brent, Dubái y medio de Texas Occidental en partes iguales.*

*** Por transacciones sencillas de la compañía norteamericana Nuexco.*

[9] World Bank, Washington D. C., Development Prospects Group (Release), October 8, 2008

El número de países y regiones del mundo que no cuenta con suministros energéticos propios aumenta, es decir, hay un incremento en las desproporciones energéticas regionales. En 1990 estos países constituían el 87% del PIB mundial, cifra que a principios del siglo XXI creció al 90%. Además, el crecimiento más grande en cuanto a la dependencia de importación de energía se presenta en naciones que se desarrollan muy rápidamente, como es el caso de China o India, por ejemplo. (Ver Figura 1.2 y 1.3)[10].

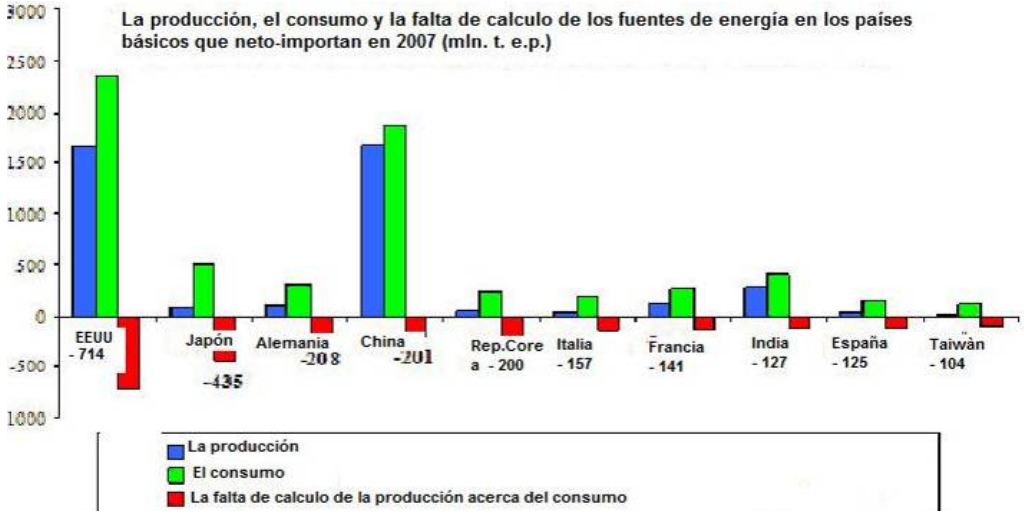
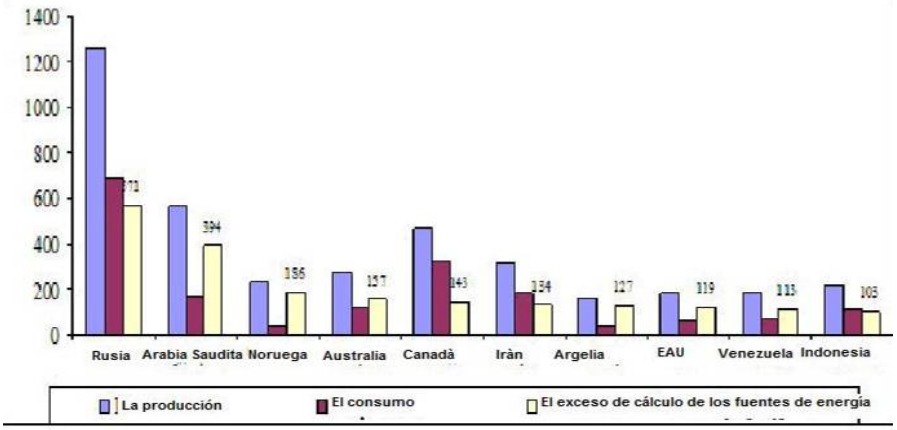


Figura 1.2 *- Producción, consumo y exceso de recursos energéticos netos a 2007, en los países exportadores (MM. Ton.).*



[10] BP Statistical Review of World Energy, June 2008

Figura 1.3 - *Producción, consumo y falta de cálculo de las fuentes de energía en los países importadores.*

Frente a la mayoría de los países, en uno u otro nivel, está el problema de contar con un suministro estable de energía. En la mencionada cumbre del G-8 en San Petersburgo se propuso una serie de soluciones alternativas, entre estas, el desarrollo a gran escala de la energía nuclear.

En el ámbito científico-técnico moderno la solución al problema de la seguridad energética estatal por medio del desarrollo de la energía nuclear aparece como la alternativa más conveniente, considerando los problemas globales como el cambio climático y el agotamiento de los recursos. La intención de ir por esta vía ya ha sido declarada por diferentes países, entre ellos China, India, Bielorrusia, Argentina, Estados Unidos, Finlandia, Bulgaria, Turquía y Eslovaquia, incluyendo a naciones que aún hoy son grandes exportadores de petróleo, como Rusia e Irán.

Cualquier decisión, especialmente a gran escala, de iniciar un programa núcleo energético propio, exige un análisis exhaustivo de las variables riesgo/beneficio, sobre la base del estudio de la experiencia de otros países en la ejecución de iniciativas semejantes.

1.2. Los recursos energéticos

Los recursos energéticos que se encuentran actualmente a disposición de la humanidad pueden dividirse en cuatro categorías:

1. **Fuentes orgánicas renovables**: madera, turba, algunos cereales aptos para la elaboración de combustibles como por ejemplo, alcohol etílico o metanol.
2. **Fuentes orgánicas no renovables (fósiles)**: carbón, gas natural y petróleo.
3. **Fuentes renovables**: luz y calor solar, energía del viento (eólica), energía de las olas del mar, corrientes de río, calor geotérmico, gradientes oceánicos de temperatura.
4. **Fuente nuclear**: uranio, plutonio y torio.

La Figura 1.4 muestra el crecimiento de la demanda proyectada hacia el 2020 de recursos energéticos mundiales a partir de las últimas décadas[11]

[11] Risks and Benefits of Nuclear Energy, OECD, NEA, 2006

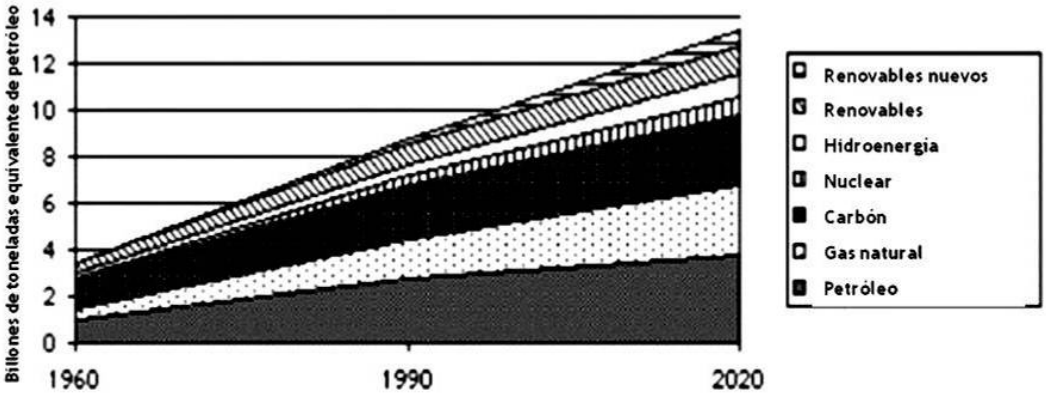


Figura 1.4 - *Crecimiento en la demanda de recursos energéticos en el mundo.*

Los recursos energéticos, como base para la generación de energía eléctrica, desde el punto de vista del riesgo/beneficio, deben satisfacer los siguientes criterios:

- **Atractivo Económico**: el combustible, en la manera de lo posible, deber ser barato al igual que la energía producida.

- **Seguridad de los recursos**: las reservas de combustible deben ser considerablemente grandes y cumplir con las necesidades para el desarrollo constante a largo plazo.

- **Accesibilidad de transporte**: No siempre es posible construir centrales eléctricas en las cercanías de los yacimientos, por ello, el combustible debe tener beneficios para su transporte y almacenamiento.

- **Utilidad industrial**: es deseable que el combustible sirva solamente para la combustión. Así, por ejemplo, el gas natural y el petróleo, al igual que los productos de refinación del petróleo, son demasiados valiosas para utilizarlos como combustible de caldera. Hasta el uso de la turba, para estos mismos objetivos, se reduce cada año, ya que la turba es un excelente fertilizante y una sustancia que influye de manera muy favorable en la estructura del suelo.

- **Seguridad tecnológica**: el actual nivel del desarrollo de la tecnología debe proveer una suficiente seguridad, tanto en situaciones de operación normal como en situaciones de emergencia.

- **Ecología de los desechos:** los desechos originados por la utilización del combustible deben generar un nivel mínimo de contaminación del medioambiente. Del mismo

modo, en las últimas décadas se ha comenzado a hablar sobre la exigencia de no influir en el calentamiento global del planeta.

La Figura 1.5 muestra la producción de energía primaria y el suministro mundial de energía[12].

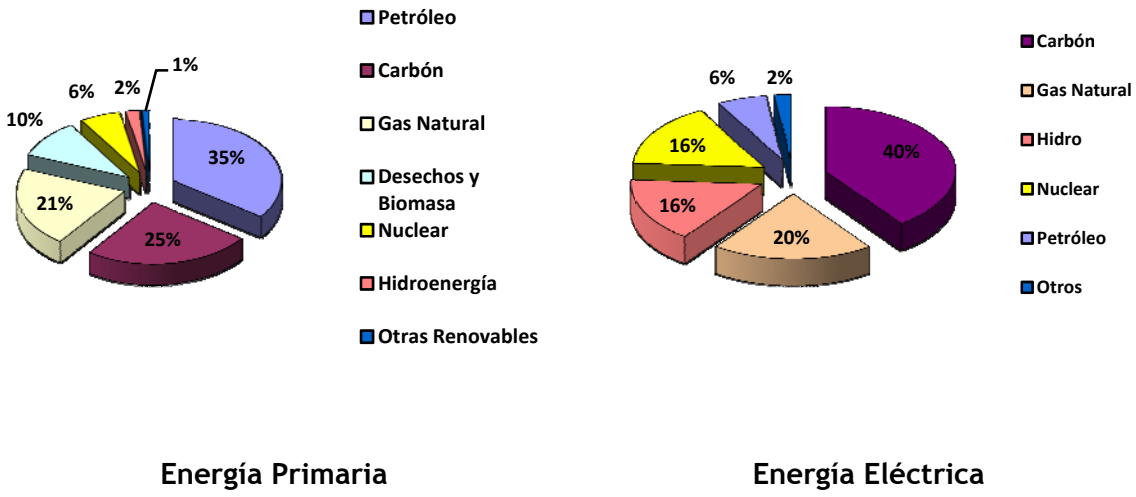


Figura 1.5 - *Producción de energía primaria y suministro mundial de energía.*

1.2.1. Recursos no renovables

Según su estructura, los recursos de energéticos no renovables (Carbón, Gas natural y Petróleo) se pueden separar en generales y extraídos. Es prácticamente imposible obtener y utilizar todo el combustible ubicado en el yacimiento. El coeficiente de extracción depende del tipo de combustible, el carácter del yacimiento y la técnica de extracción. Este coeficiente para el carbón es de 0.25 - 0,5 (entre los yacimientos de carbón hay muchas capas delgadas, que se encuentran muy profundo bajo la tierra); para el gas natural es de 0,5 - 0,8, y para el petróleo es de 0,3 - 0,4. La cantidad general de recursos orgánicos de combustible extraídos de la Tierra (carbón, gas natural y petróleo juntos) es estimada en 4.000 billones de teratoneladas.

En el año 1980 el consumo de todos los tipos de recursos energéticos, por parte de todos los países del mundo, fue de alrededor de 10 billones de teratoneladas y en el 2000, alrededor

[12] Risks and Benefits of Nuclear Energy, OECD, NEA, 2006

de 20 billones de teratoneladas. Estas cifras, de acuerdo a una serie de pronósticos, indican que las reservas de combustible orgánico alcanzarán solo por un tiempo limitado

A continuación se revisa cada una de de estas tres fuentes de energía no renovable, según sus características principales, yacimientos y dinámica de precios.

1.2.1.1. Carbón

El carbón es un combustible sólido de origen vegetal, procedente de eras geológicas remotas (hace 345 millones de años) en las que grandes extensiones del planeta estaban cubiertas por una vegetación abundante que crecía en pantanos. Al morir las plantas quedaban sumergidas por el agua poco a poco se descomponían. Con el paso del tiempo, la arena y el lodo fueron acumulándose sobre estos sedimentos y la presión de las capas superiores, los movimientos de la corteza terrestre y el calor volcánico, comprimieron y endurecieron los depósitos hasta formar carbón.

Los diferentes tipos de carbón se clasifican según su contenido de carbono fijo. La turba, la primera etapa en la formación de carbón, tiene un bajo contenido de carbono fijo y un alto índice de humedad. El lignito, el carbón de peor calidad, tiene un contenido de carbono mayor. El carbón bituminoso tiene un contenido aún mayor, por lo que su poder calorífico también es superior. La antracita es el carbón con el mayor contenido en carbono y el máximo poder calorífico. La presión y el calor adicionales pueden transformar el carbón en grafito, que es prácticamente carbono puro. Además de carbono, el carbón contiene hidrocarburos volátiles, azufre y nitrógeno, así como diferentes minerales que quedan como cenizas al quemarlo.En promedio, durante la combustión de un kilogramo de diferentes variedades de carbón se liberan 20-34 Mega Julios de energía térmica. Esto es poco en comparación con el petróleo y el gas natural. Sin embargo, el carbón es el combustible más usado para la producción de energía eléctrica y en la actualidad es la fuente del 40% de la electricidad en todo el mundo. Sus reservas constituyen ¼ de todos los recursos energéticos mundiales, como se pudo apreciar en la Figura 1.5

Las ventajas del carbón como combustible se basan principalmente en su universalidad: se puede usar en cualquier clima, en centrales eléctricas de cualquier potencia y hasta en calderas individuales. Por contrapartida, su principal desventaja es el alto nivel de contaminación atmosférica que entraña su combustión, que libera al medioambiente anhídrido sulfuroso, cenizas volantes, hollines, metales pesados y óxidos de nitrógeno.

Una prueba del alto grado de contaminación que genera el carbón la entregó recientemente el estudio titulado "La combustión del carbón deja un legado tóxico de metales pesados en el Ártico", llevado a cabo por el Desert Research Institute (DRI) de Nevada, Estados Unidos. Mediciones detalladas de un núcleo de hielo extraído en Groenlandia revelaron la presencia de agentes contaminantes como resultado de la combustión del carbón. Se trata de elementos tóxicos como el cadmio, el talio y el plomo, a niveles mucho mayor de los que se esperaba, dado el descenso sostenido en la utilización de este combustible durante la última década, sumado al hecho de que se han elaborado diversas nuevas tecnologías para su combustión destinadas a minimizar el daño al medioambiente.

Lo cierto es que el "carbón limpio" no existe. Peor aún, se trata de la principal fuente de contaminación de mercurio del plantea y también del causante número uno del calentamiento global. Además, la explotación minera del carbón destruye millones de hectáreas de tierras y contamina o destruye miles de kilómetros de corrientes de agua. Las emisiones de las centrales a carbón pueden provocar ataques de asma en los niños y están relacionadas con enfermedades respiratorias que provocan incapacidad y muerte.

Por otra parte, el azufre y el nitrógeno del carbón producen óxidos durante la combustión que contribuyen a la formación de lluvia ácida.

Si bien es cierto, que la eficiencia de las centrales eléctricas de carbón modernas ha mejorado, esto ha sido a cambio de aumentar sus costos de producción, básicamente por el uso de tecnologías especiales para la captura de sus principales contaminantes. La extracción de carbón en grandes canteras es relativamente barata, pero los gastos para su transporte a grandes distancias aumentan considerablemente su precio, lo cual indudablemente aumentará el valor de la energía producida.

El carbón se encuentra en casi todas las regiones del mundo, pero en la actualidad los únicos depósitos de importancia comercial están en Europa, Asia, Australia y América del Norte.

La distribución geográfica de las reservas mundiales de carbón y su extracción se muestran en ver Tabla 1.2[13], mientras que la dinámica de los precios de este recurso se explica en la Figura 1.6[14].

Tabla 1.2 - *Distribución geográfica de las reservas de carbón y su extracción.*

[13] Risks and Benefits of Nuclear Energy, NEA, OECD, 2006
[14] BP Energy Statistics, 2008

País	% reservas comprobadas	% extracción (año 2005)
Australia	8,5	7
Polonia	1,5	2,5
Estados Unidos	27	20
Total Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED).	4	35
República Sudafricana	5,5	5
China	12,5	38,5
India	10	7
Kazajstán	3,5	1,5
Federación de Rusia	17,5	4,5
Ucrania	4	1,5

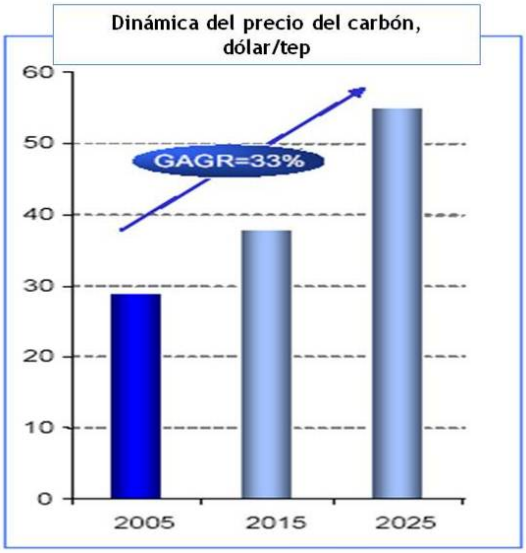


Figura 1.6 - *Dinámica de precios del carbón ($ /toneladas del equivalente de petróleo).*

1.2.1.2. Gas natural

El gas natural también es un recurso importante para la energía eléctrica mundial. En el año 2004 su parte en la producción internacional constituía alrededor de un 20%, índice que aumenta de manera constante (ver Tabla 1.3)[15].

El uso del gas natural provoca una contaminación menor en la atmósfera en relación al carbón, por eso es que algunos países ya tomaron la decisión de sustituir el carbón como combustible por gas natural. Se puede extraer del suelo, transportar de manera relativamente fácil por medio de gasoductos a grandes distancias y conducirlo de esa manera a localidades lejanas (de esta forma se abastece gran parte de los países de Europa). Tiene también la cualidad de transformarlo en líquido para su transporte en embarcaciones marítimas. El calor específico producido por la combustión del gas es igual al petróleo (44-46 Mega Julios/Kg.).

Tabla 1.3 - *Distribución geográfica de las reservas del gas natural y su extracción.*

País	% reservas comprobadas	% extracciones

[15] Risks and Benefits of Nuclear Energy, OECD, NEA, 2006

		(año 2005)
Estados Unidos	3	19
Total OECD[16]	8,5	39
Venezuela	2,5	1
Argelia	2,5	3
Nigeria	3	1
Irán	15	3
Qatar	14,5	1,5
Arabia Saudita	4	2,5
Federación de Rusia	26,5	21,5

Pese a sus ventajas, hay que recordar que se trata de un recurso no renovable. Su uso a gran escala para la generación de energía eléctrica, especialmente en lugares donde otros modos de generación son posibles, puede traer problemas en el futuro si se extralimita su explotación.

Además, es muy probable que el papel excepcional del gas natural como combustible para la producción de energía traiga un aumento de su costo en el futuro cercano. En este contexto la tendencia es que el recurso sea cada vez menos competitivo para la producción de energía eléctrica.

La dinámica de precios del gas natural, proyectada al año 2030, se muestra en la Figura 1.7[17].

[16] OECD: Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCE
[17] BP Energy Statitics, 2008

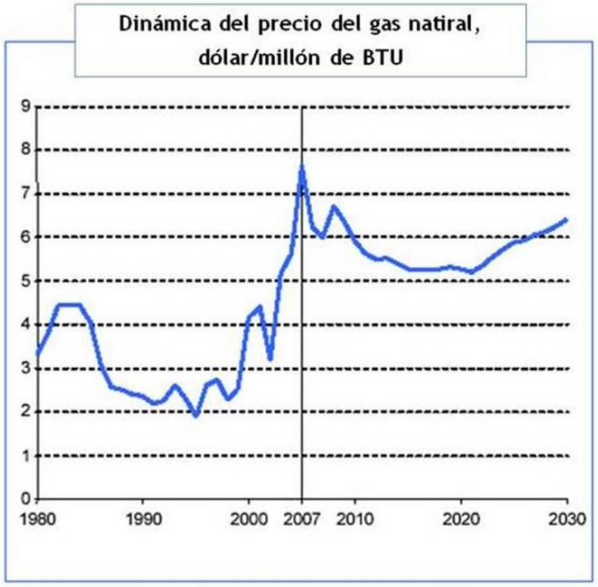


Figura 1.7 - *Dinámica de precios del gas natural desde 1980 y proyección a 2030.*

1.2.1.3. Petróleo

En el año 2004 el petróleo abastecía el 6 % de toda la producción mundial de energía eléctrica y todavía hoy en algunos países se utilizan grandes cantidades de petróleo con este objetivo. Los méritos del petróleo como combustible consisten en su alto calor específico durante el proceso de combustión, entre 44-46 Mega Julios/Kg., así como la simplicidad de su transporte. A pesar de que su precio ha disminuido en la actualidad, la tendencia mundial demuestra que el petróleo se hace cada vez más caro y necesariamente debe ser desplazado por otros tipos de fuentes de energía (ver Figura 1.8)[18].

Sin embargo, el petróleo, al igual que el gas natural, es importante para otros usos, como por ejemplo, es el combustible por excelencia para el transporte cualquiera este sea y sirve de materia prima en la producción de plásticos y productos farmacéuticos. Por eso, en las regiones donde hay posibilidades económicamente justificadas para recurrir a otros combustibles, los productos de refinación del petróleo no se utilizan para la generación de energía eléctrica (ver Tabla 1.4).

[18] IEA, World Energy Outlook, 2006

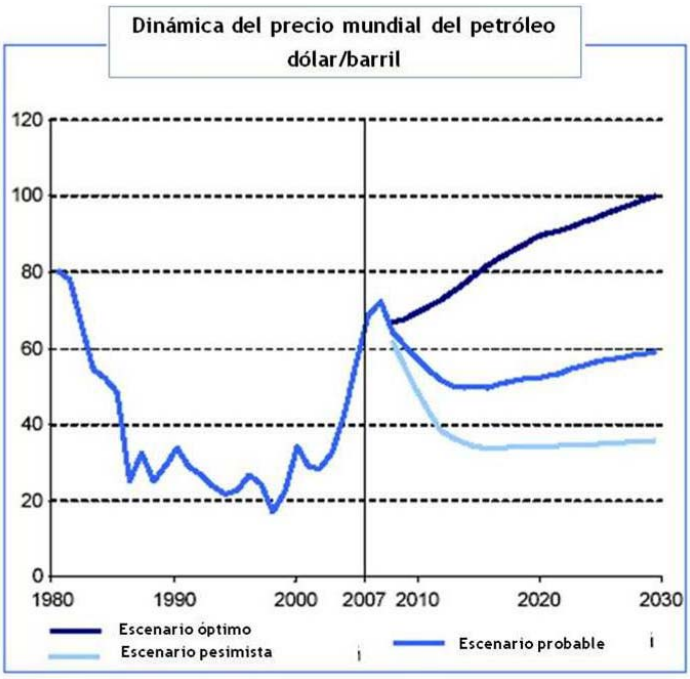


Figura 1.8 - *Dinámica de los precios mundiales del petróleo.*

Tabla 1.4 - *Distribución geográfica de las reservas del petróleo y su extracción*[19].

País	% reservas comprobadas	% extracciones (año 2005)
Estados Unidos	2,5	3
Total Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED)	6,5	24
Venezuela	6,5	4
Libia	3,5	2
Nigeria	3	3

[19] Risks and Benefits of Nuclear Energy, OECD NEA, 2006

País	% reservas comprobadas	% extracciones (año 2005)
Irán	11,5	5
Irak	9,5	2,5
Kuwait	8,5	3,5
Arabia Saudita	22	13,5
Emiratos Árabes Unidos	8	3,5
Kazajistán	3,5	1,5
Federación de Rusia	6	12

Otro hecho importante a tener en cuenta es que si bien desde los años 70 existe una política de conservación de las reservas naturales de petróleo crudo, los pronósticos recientes indican que en un plazo de 50 años más se agotarán todos los recursos de combustible orgánico, a excepción el carbón.

1.2.2. Recursos renovables[20]

Las tecnologías que ponen al servicio del hombre las fuerzas de la naturaleza son conocidas desde hace mucho tiempo. De acuerdo con la opinión difundida, el uso de las fuentes renovales de energía es limpia para el medioambiente, ya que no está vinculada a la combustión de material orgánico y ni acompañada por el manejo de elementos radioactivos. La energía del sol, del viento, las olas, las aguas fluviales, la biomasa y los flujos de calor geotérmico de la Tierra son accesibles en cualquier momento. Sus reservas no dependen, en general, de la actividad del hombre.

Sin embargo, al examinar todas las etapas del ciclo de la generación de la energía eléctrica con el uso de fuentes renovables de energía, queda demostrado que las influencias nocivas no serán menores en comparación con las tecnologías tradicionales. Esto se debe a que las

[20] Ageev V.A., Fuentes no tradicionales y renovables de energía, Editora Universidad Saratov, Rusia, 2007.

fuentes renovables de energía tienen un factor de planta bajo en comparación con los combustibles fósiles y el combustible nuclear. En ciertas ocasiones - tema que aun está en discusión y en evaluación por parte de autoridades en la materia y el mundo científico - la obtención y operación de estas fuentes pueden tener impactos ambientales contrarios a lo esperado.

La verdad es que energía de fuentes renovables no necesariamente significa limpia, tampoco nulo impacto ambiental, ni seguridad de suministro y parece olvidarse que todo proyecto conlleva impactos. Los grandes proyectos de energía hidráulica, por ejemplo, están relacionados con la migración, la pérdida de los hábitats, el cambio del nivel de las aguas subterráneas y régimen de lluvia. En el caso de las celdas fotoeléctricas y los acumuladores, una parte considerable de los materiales usados son tóxicos y es necesario enfrentar como dicha industria se hará cargo de enfrentar el cierre de dichas plantas. Las fuentes geotérmicas frecuentemente están acompañadas de la eliminación de metales pesados, que pueden caer en aguas subterráneas, así como el riesgo de extinción del recurso geotermal si es mal manejado. Las instalaciones eólicas crean interferencias acústicas y electromagnéticas con posibles daños a la salud, que constituyen también obstáculos para la radiocomunicación. Se conocen casos en que el efecto de los aerogeneradores provoca el desvío de los pájaros hacia otras rutas en su migración y, en consecuencia, esto provoca cambios en los ecosistemas o una disminución de las cosechas en la región.

De todas las fuentes renovables de energía conocidas, para la generación de energía eléctrica a escala industrial solo se utiliza la hidráulica. La energía solar se usa cada vez más para suplir necesidades de calefacción y agua sanitaria, y puede tener un importante nicho de desarrollo en el futuro en dicha área.

La biomasa - por ejemplo, restos de la caña de azúcar, los desechos de la industria forestal y agrícola - es quemada para la obtención de energía. Incluso de algunos tipos de biomasa se puede obtener combustible para el transporte. Sin embargo estas formas aun dan una contribución pequeña a la generación de energía eléctrica mundial por ser tecnologías en desarrollo y resulta necesario monitorear su desarrollo para ver su efectividad real fuera de laboratorio. De más está decir, que la implementación práctica de proyectos emblemáticos en biomasa de la industria de celulosa ha resultado controversial en Chile y han sido cuestionados ambientalmente en el proceso.

Además, a pesar de la relativa accesibilidad y la amplia difusión de las fuentes renovables de energía, el pronóstico de su aplicación y resultados sigue siendo inestable e insuficiente. Esto significa que para su uso seguro es necesario fuentes que dupliquen la energía eléctrica o métodos que permitan la formación de grandes reservas. A excepción de la energía

hidráulica en la actualidad no existe ningún otro modo de la acumulación de la energía a gran escala.

A continuación se revisarán las principales características de las fuentes más difundidas de energía renovables.

1.2.2.1. Energía solar

"Solar sí, nuclear no", es la consigna popular de distintos movimientos ecologistas que abogan por el uso directo del calor del sol. Aunque el costo de la energía eléctrica producida por las celdas solares es bastante baja, el camino para el aumento de su eficiencia hasta niveles económicamente aceptable es, por desgracia, aun muy lento. Las causas de esto son tanto técnicas como económicas con resultados inciertos. Lo concreto es que hoy las posibilidades son bastante limitadas, no por escasez de potencial en Chile, el cual sin duda es abundante, sino por la tecnología, los costos para implementarlo y lo que a veces es olvidado, que es el hecho que la población requiere energía mientras el sol enciende la celda y posterior a que se esconde, y para eso el almacenamiento para abastecer de manera continua encarece aun mas los costos.

Se calcula que 1 m^2 de superficie de la Tierra (tierra y océano) recibe cerca 0,16 KW de radiación solar. Esta cantidad es bastante significativa. Para toda la superficie de la Tierra la potencia total aproximada seria de 10^{14} KW. Esta potencia, y hasta mil veces menos, podría abastecer por completo las necesidades energéticas de la humanidad tanto para la generación de energía eléctrica como para calefacción.

En el primer caso los esfuerzos básicos están concentrados en dos direcciones:

- El uso de Convertidores Fotoeléctricos Semiconductores (CFS), capaces de transformar la energía del sol en eléctrica.
- La creación de instalaciones generadoras de vapor, en las cuales la caldera de vapor que trabaja con combustible orgánico, se sustituye por una caldera de solar.

En ninguna de estas dos direcciones se ha alcanzado una eficiencia tal que la tecnología solar garantice una alta penetración en el mercado de generación de energía eléctrica sin la presencia de altos subsidios por parte del Estado.

Los principales obstáculos para la aplicación de todos las formas de transformación de la energía del Sol, es la gran dispersión de la energía del astro sobre la Tierra y la irregularidad

de la radiación solar que alcanza a la superficie. Los flujos de energía solar se interrumpen durante la noche y cuando el cielo se encuentra cubierto. Esto provoca un coeficiente bajo de uso, habitualmente menor a 15 %.

Las instalaciones de helio sobre los convertidores fotoeléctricos (CF) se utilizan exitosamente en los dispositivos espaciales, como fuente de energía para las necesidades de la tripulación de las naves. Pero los requerimientos de estas son bajos, por lo tanto el bajo rendimiento de los convertidores fotoeléctricos en este caso no tiene gran significado.

La seguridad del funcionamiento de este tipo de instalaciones de helio, su peso y dimensiones son aceptables. Sin embargo esto se estrella con los altos costos que aún tiene el sistema, incluso para el uso doméstico.

Los sistemas solares autónomos tienen la necesidad de contar con un almacén donde se acumule durante el día la energía y de esta forma poderla utilizar en la noche o cuando haya nubosidad. Estos almacenes pueden ser baterías, también hidrógeno producido por la electrólisis, o materiales superconductores. En cualquier caso, son necesarias fases adicionales de transformación de la energía con pérdidas inevitables, lo cual disminuye el rendimiento general y aumenta los gastos. Algunas centrales eléctricas solares experimentales con potencias de 350 KW son incluidas en las redes eléctricas de Europa y los Estados Unidos. En las instituciones científicas se continúan las investigaciones con el objeto de reducir el tamaño de las fotoceldas y aumentar su eficiencia.

El esquema principal de la instalación para la generación de vapor solar se muestra más abajo (Figura 1.9). Se diferencia del esquema de una central termoeléctrica de combustible orgánico solamente por el mecanismo de la caldera. Para el enfoque de los rayos solares se usa un concentrador de helio (juego de espejos o lentes), permitiendo así dirigir los rayos solares a la caldera.

Comúnmente, el concentrador de helio es un reflector parabólico, que sigue el recorrido del sol durante el día. En el foco de este reflector está situado un absorbente que utiliza la energía solar para el calentamiento de un líquido especial (habitualmente un aceite sintético) hasta una temperatura de 400 grados Celsius. Este fluido, es enviado a la turbina y al generador. Actualmente existen algunas centrales eléctricas de este tipo en operación con bloques energéticos de 80 MW. Cada bloque ocupa un área de aproximadamente 500 Ha y exige sistemas de control muy precisos. A estas centrales solares se le adicionan centrales a gas, que producen alrededor de ¼ parte de la potencia total y conservan el régimen de trabajo por la noche.

A mediados de los años 90, centrales similares con una potencia de hasta 350 MW en el mundo producían alrededor de 80% de la energía eléctrica solar recibida en los concentradores de helio.

Los expertos sostienen que en el futuro, el rol fundamental de la energía solar estará en su uso directo para la calefacción.

El calor es la mayor necesidad energética de las personas. Por ejemplo, el suministro de agua caliente con una temperatura no mayor a 60°C, puede ser parcialmente satisfecho con el uso de la luz y el calor solar. Ya que la intensidad de la radiación solar depende de las condiciones del día y del tiempo, en las instalaciones de calefacción es necesario tener un acumulador de calor. El rol de estos acumuladores, es servir como depósitos del agua caliente. Sin embargo, la sustitución completa de la calefacción solar por la habitual, en la mayoría de los casos no es posible. No obstante, su uso tiene la ventaja de que permite un ahorro considerable de combustible orgánico.

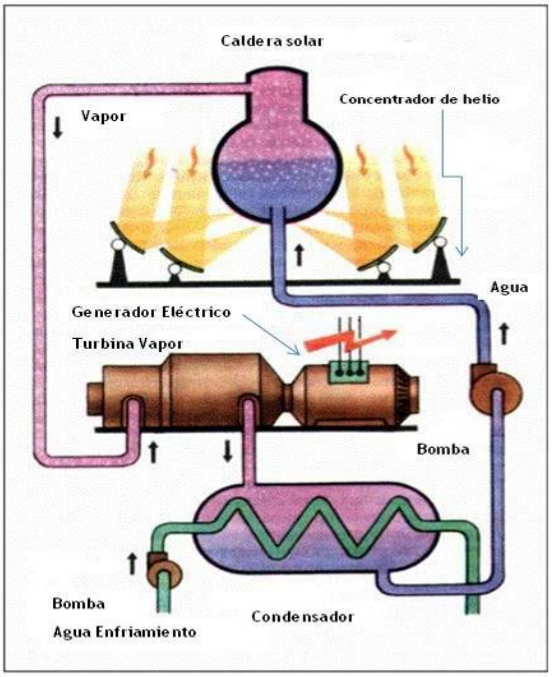


Figura 1.9 - *Esquema principal de la instalación de un generador solar de vapor.*

Aparentemente, en un futuro cercano será posible el uso comercial de la energía solar para el abastecimiento de calor a objetivos industriales. La realización práctica de ello disminuirá el consumo de energía eléctrica, reducirá el gasto del combustible orgánico e

influirá favorablemente sobre el estado del medioambiente. Y si se utilizan las bombas térmicas y tuberías con el aislamiento térmico confiable, es posible calentar los edificios con pérdidas mínimas de energía.

A fin de cuentas, hasta un diez por ciento de la energía total consumida en los países industrializados puede ser obtenida a través del uso racional de la energía del solar. Esto permitirá reducir los volúmenes de la generación de energía eléctrica que proviene de otros sistemas.

1.2.2.2. Energía eólica

Cerca del 2% de la energía solar que llega a la Tierra se transforma en energía eólica, vale decir, viento. Durante muchas décadas, en regiones lejanas, se usaron molinos de viento para generar energía eléctrica suficiente para las necesidades domésticas y recarga de baterías. Los módulos generadores (que alcanzan potencias de más de 1 MW) actualmente funcionan en muchos países.

La potencia de la energía eléctrica producida por una turbina eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Su uso es eficaz con velocidades del viento de entre 7 a 20 m/s (ó 25 a 70 Km/hora), pero no en todas las regiones del globo terrestre hay vientos de este tipo y que además sean constantes.

El problema de la energía eólica (así como la solar), es que requiere fuentes adicionales que dupliquen de energía eléctrica o de sistemas para su acumulación en los momentos en que no hay viento.

En el uso de la energía eólica hay dos modalidades:

- El uso de instalaciones pequeñas (con una potencia de hasta 15 KW), destinadas principalmente para la elevación y bombeo de agua, así como para la recarga de acumuladores eléctricos.
- El uso de sistemas eólicos potentes para la generación de energía eléctrica.

En la actualidad, las turbinas de viento que trabajan en distintas partes del mundo tienen una potencia total cercana a los 15.000 MW. En aquellas regiones alejadas se consideran como un elemento importante para la población y la pequeña industria. Los módulos más económicos, prácticos y comerciales tienen una potencia de aproximadamente 1 MW, agrupados en pequeñas centrales eólicas.

Sin embargo, en el uso del viento como fuente de energía eléctrica hay ciertos problemas cuya solución, al nivel del desarrollo actual de la tecnología, no parece posible:

1) Su funcionamiento está vinculado a la generación de interferencias, las cuales influyen de manera desfavorable en el trabajo de las redes de radio y televisivas. Por primera vez este fenómeno, ampliamente tratado por la prensa, fue señalado en Gran Bretaña, donde los habitantes de las islas Orknejsky se quejaban de las interrupciones de recepción de las emisiones televisivas. Según los datos que hay, una instalación de energía eólica con una potencia de 0,1 MW puede llevar a la alteración de las radioseñales en un radio de hasta 0,5 Km.

2) Otra particularidad de las instalaciones eólicas se manifiesta en la generación de ruidos infrasonoros muy intensos, que actúan en el organismo humano de manera desfavorable, provocando un estado depresivo permanente, una fuerte inquietud inmotivada e inconformidad vital. Como ha demostrado la experiencia de operación de instalaciones eólicas en los Estados Unidos, el ruido afecta a animales y la migración de aves.

3) El defecto más importante de este tipo de energía, teniendo en cuenta la variabilidad de la velocidad del viento, es su baja producción por unidad de superficie, lo cual exige un territorio considerable para el montaje de la instalación eólica. De los cálculos realizados por especialistas, el diámetro óptimo para la instalación eólica es de 100 m. Con estas dimensiones geométricas y con una relación de la densidad de energía por unidad de superficie de la instalación eólica de 500 W/m^2 (la velocidad del viento es de 9,2 m/s) del flujo de viento, es posible obtener una potencia eléctrica próxima a 1 MW. En un área de 1 Km^2 es posible instalar 2-3 instalaciones con la potencia indicada, tomando en cuenta que las mismas deben encontrarse a una distancia igual a sus tres alturas, para no alterar el funcionamiento y rendimiento de la otra instalación.

En la URSS, en el año 1991 se encontraban en funcionamiento más de 18.000 instalaciones eólicas. Ya en el año 1930 a partir del Departamento de Motores Eólicos del Instituto Central Aerohidrodinámico (ICA) fue creado el Instituto Central de Energía Eólica (ICEE) y en 1938 se organizó la Oficina de Diseños y Proyectos de Centrales de Energía Eólicas.

Entre las ventajas destaca que no influye en el calentamiento de la atmósfera de la Tierra; no consume oxígeno; no contamina con gas carbónico y otras emisiones; y tiene la posibilidad de su transformación en otros tipos de energía (mecánica, térmica, eléctrica). Entre sus desventajas se puede mencionar que la baja densidad de energía por unidad de superficie de una central eólica o los cambios imprevisibles de la velocidad del viento

durante el día y la temporada exigen dosificar el uso de la energía o almacenarla; además de la influencia negativa al medioambiente antes señalada y las interferencias en las comunicaciones, además de posibles daños a la salud humana que aun están en estudio. También la experiencia nacional y extranjera confirma la necesidad técnica de que la construcción y operación de centrales eólicas de baja potencia se realice en lugares lejanos a las líneas de alta tensión.

1.2.2.3. Energía hidráulica

La hidroelectricidad constituye el 19% de la generación de energía eléctrica mundial. Originariamente la energía hidráulica se usaba en la tracción de las maquinas de labor, tales como molinos, martillos, fuelles, etc. Con la invención de la turbina hidráulica, la máquina eléctrica y la transmisión de electricidad a grandes distancias, la energía hidráulica ha adquirido un nuevo significado. Las centrales hidroeléctricas son instalaciones energéticas que se distinguen por ser de las más ventajosas para incorporarlas a la matriz de de un país, por la cobertura que genera de las máximas demanda, su bajo costo y como reserva en caso de una avería en el sistema energético nacional.

La Figura 1.10 presenta el esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica.

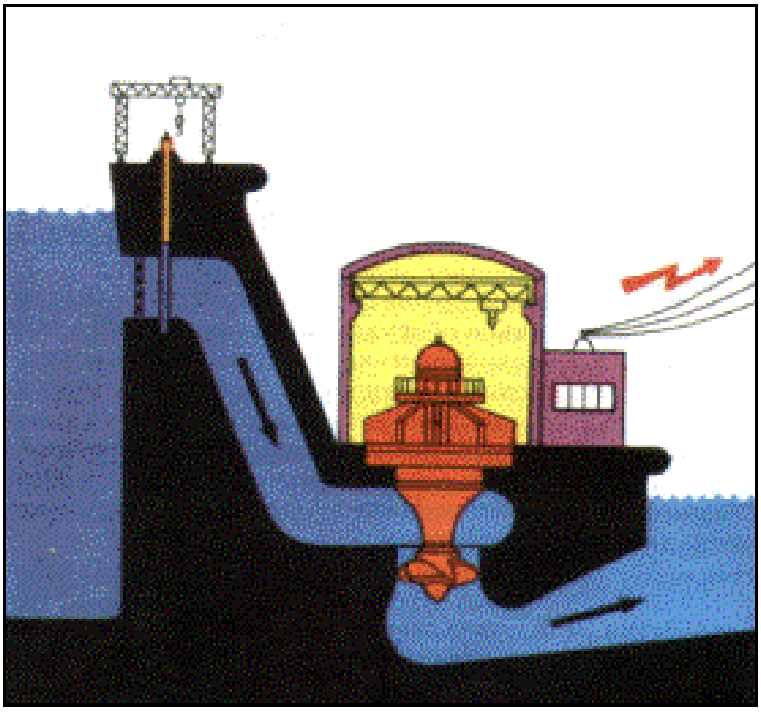


Figura 1.10 - *Esquema de funcionamiento de una central hidroeléctrica.*

La creación de desniveles de agua se logra por la construcción de represas (el elemento más importante y costoso en una central hidroeléctrica). El agua, corriendo del nivel superior al inferior, adquiere una gran velocidad y llega de esa forma a las paletas de las turbinas la que hace girar su rotor. La ventaja de muchos hidrosistemas consiste en la capacidad de compensar las cargas estacionales y máximas diarias en el consumo de energía eléctrica. A veces el uso de las reservas de agua se torna complicado por las demandas para el riego que pueden recibirse durante las cargas máximas. En algunas áreas, el uso de la hidroelectricidad se limita durante las lluvias estacionales. A pesar de las ventajas de este sistema, este no podrá aumentar la producción de la hidroelectricidad en el futuro, ya que la mayoría de las regiones del mundo donde es posible el uso de la energía potencial hidráulica, ya se encuentran en operación, o son inaccesibles por otras causas (por ejemplo, por las consideraciones de protección del medioambiente).

1.2.2.4. Energía de las mareas

El uso de la energía de las mareas en los golfos o las desembocaduras de los ríos fue realizado por primera vez en Francia y en Rusia a partir de 1966. El flujo y reflujo del agua que se mueve en dos direcciones se utiliza para hacer girar las turbinas. Durante la afluencia, el nivel de agua del mar se eleva y esto puede aprovecharse para el llenado de un recipiente cualquiera. En el trayecto de la corriente de agua es posible poner una turbina, que generará la energía eléctrica. La corriente de agua de retorno durante el reflujo puede hacer girar también la turbina si su construcción asegura la posibilidad del giro en las dos direcciones y la producción de energía eléctrica. El esquema se presenta en la Figura 1.11.

En el mundo no operan muchas centrales eléctricas experimentales de marea. Desde el año 1968 opera en Rusia la central eléctrica experimental de marea de Kislogubsk, en la costa del mar de Barents, en la cual hay instaladas dos turbinas de 400 KW cada una. Una gran estación de marea se encuentra en operación sobre el río La-Rans (Francia), su potencia es de 240 MW. Hay varios proyectos de construcción de otras estaciones semejantes. Por ejemplo, en la desembocadura del río Severi (Inglaterra), que tiene el más alto nivel de afluencias de la Tierra. La potencia de los turbogeneradores de esta estación es de 720 MW.

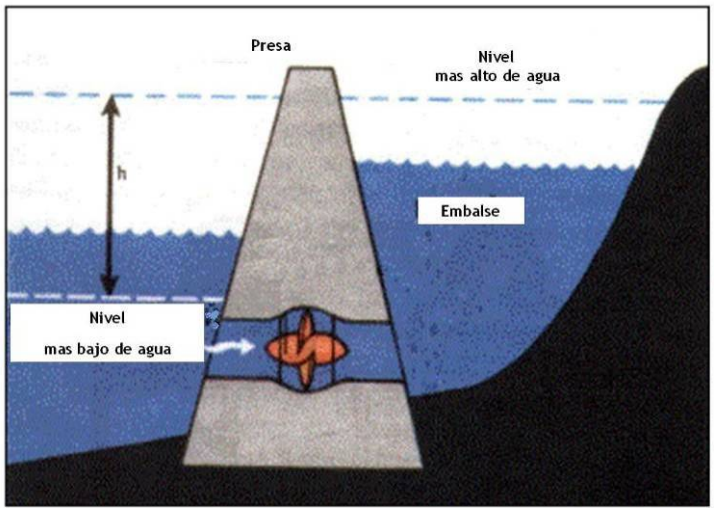


Figura 1.11 - *Esquema simplificado del sistema de la central eléctrica mareomotriz*

En el mundo esta tecnología se ha usado poco, porque para su aplicación son necesarias condiciones naturales especiales, únicas, por lo tanto, cabe concluir que sus posibilidades potenciales para la generación de energía eléctrica son muy limitadas, tanto por la detección de dichos lugares, aspecto en el que debe reconocerse que Chile tiene un potencial superior a otros países, no obstante, por ser una tecnología experimental que requiere probablemente décadas entre el desarrollo de la tecnología y operación comercial de gran escala, se observa como una opción aun poco viable.

1.2.2.5. Energía nuclear

Desde el comienzo de la revolución industrial, la civilización ha obtenido la mayor parte de su energía hirviendo agua para producir vapor. Los reactores nucleares representan el último paso en esta técnica. Básicamente, consiste en generar una reacción en cadena que produce calor, en lugar de reacciones químicas contaminantes, como en la combustión de material fósil.

La energía nuclear se basa en el poder del núcleo del átomo, la partícula más pequeña de un elemento químico. Ciertos elementos tienen la propiedad de transformarse por la desintegración natural de otros elementos, como resultado de modificaciones producidas en sus núcleos atómicos, emitiendo radiaciones corpusculares o electromagnéticas. Así, todos los elementos de número atómico superior a 83 son radioactivos, pero solo algunos de ellos, el Uranio y el Torio, se utilizan como fuente de energía para producir electricidad.

En la reacción nuclear se libera una extraordinaria cantidad de energía debido a que se produce una disminución neta de masa que se transforma directamente en energía, y está que puede producirse de dos maneras, de acuerdo a la famosa ecuación de Albert Einstein: $E = MC^2$ (Energía = masa por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío):

- **Fisión:** Un elemento (neutrón) rompe un núcleo pesado en otros 2 más ligeros, liberando varios neutrones y gran cantidad de energía. La masa total de los productos es algo inferior a la del núcleo inicial, en el denominado "defecto de masa" que se transforma en energía.

- **Fusión**: Es la unión de 2 núcleos ligeros para formar otro más pesado con liberación de energía.

Los actuales reactores nucleares para generar electricidad funcionan a base de la fisión del átomo, utilizando principalmente Uranio como combustible natural, con un contenido isotópico en su estado natural de 0,71% en átomos de Uranio-235. Este elemento se encuentra en la naturaleza en una proporción del 0,004%, es decir, es unas 1.000 veces más abundante que el oro, unas 30 veces más abundante que la plata, y tanto como el plomo y el cobalto.

En rigor, existen dos combustibles nucleares naturales, el Uranio y el Torio, pero hay varios combustibles artificiales, el más importante de los cuales es el Plutonio 239. Un reactor nuclear típico durante su funcionamiento produce materiales fisionables, entre los cuales destaca el Plutonio 239, que se reutiliza en los llamados reactores rápidos, para producir nueva energía.

Por su parte el Torio es aún más abundante en la corteza terrestre que el Uranio y los científicos y especialistas rusos sostienen que va reemplazarlo en un futuro cercano, según los resultados obtenidos en investigaciones recientes que han dado origen ya a la puesta en marcha de reactores con este tipo de combustible.

Algunos especialistas sostienen que dentro de unos 25 años la industria nuclear va a estar en condiciones de generar electricidad por la **fusión** de dos núcleos ligeros (Litio y Deuterio) en uno más pesado (Helio), obteniéndose unas cuatro veces más energía que en la fisión. Esta reacción –que se produce de manera natural en el sol- requiere de temperaturas muy elevadas, unos 100 millones de grados. Los experimentos para replicar este proceso actualmente son dos, el primero y más prometedor es llamado Tokamak, desarrollado por Rusia, y consiste en el confinamiento magnético de plasma. El proyecto más importante relacionado con este método es el ITER (Internacional Termonuclear Experimental Reactor)

desarrollado por la Unión Europea Japón y Rusia y está actualmente construyendo una central nuclear por fusión.

El segundo proyecto, el NIF, se encuentra aún en etapa de investigación para definir la factibilidad de lograr la fusión mediante un láser de alta energía, usando confinamientos inerciales. Está siendo desarrollado en Estados Unidos.

El principio básico de la tecnología núcleo eléctrica usada actualmente es sencillo: la energía producida en el interior de un reactor mediante la fisión del combustible se manifiesta como calor, el que mediante un circuito apropiado se traspasa al agua que se transforma en vapor para poner en movimiento a una turbina. Esta a su vez accionará un alternador, generando energía eléctrica que puede transmitirse a través de la red de distribución. Enfriando nuevamente el fluido, este retorna al núcleo del generador, repitiendo el ciclo.

La energía obtenida de la fisión de un kilogramo de uranio es equivalente a la que se obtiene quemando 2.800 toneladas de carbón. En el proceso prácticamente no se liberan gases de ningún tipo a la atmósfera y la tecnología para reciclar el combustible permite su reutilización. El problema radica, como se verá más adelante, en el adecuado manejo de los desechos radioactivos, elementos de alta peligrosidad tanto para el medioambiente como para el ser humano.

1.3. La situación energética de Chile[21, 22]

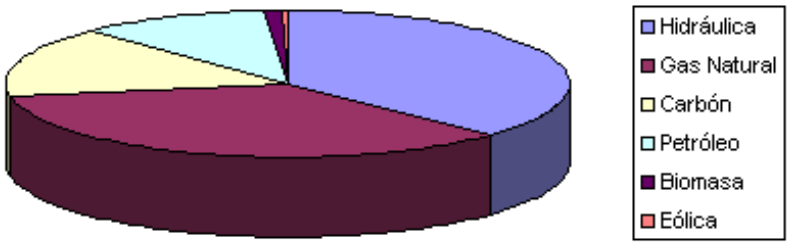
En la actualidad, Chile cuenta con una matriz energética que alcanza los 13.500 MW, potencia que debería ser duplicada hacia el año 2020, de acuerdo a las crecientes necesidades y el desarrollo económico. Algunos expertos del sector incluso sostienen que hacia el año 2030 el consumo incluso podría triplicarse. Al margen de los estudios y las eventuales variaciones entre una proyección y otra, lo cierto es que a corto y mediano plazo el sector energético chileno requiere aumentar de manera significativa su capacidad de producir electricidad.

Por su especial geografía Chile ha debido configurar una matriz energética en la que predomina la generación hidráulica y en las últimas décadas se optó por el gas natural. En la práctica, ambas fuentes han demostrado ser insuficientes y sobre todo, incapaces de

[21] Información estadística de la Comisión Nacional de Energía.
[22] La Opción Núcleo-Eléctrica en Chile Informe, Grupo de Trabajo Núcleo-Electricidad, Gobierno de Chile, Septiembre 2007.

asegurar el suministro, ya que dependen de factores externos, como en régimen de lluvias en el primer caso, por lo que se ha visto no pocas veces complicada en periodos de sequía; y la estabilidad económica y política de Argentina, en el caso del gas, por ser nuestro principal proveedor.

Fuentes de origen fósil completan casi un tercio de la matriz y sin bien se han comenzado a desarrollar proyectos eólicos o solares, sus dimensiones aún son pequeñas por lo que su aporte es insignificante al sistema (ver Figura 1.14). Autoridades del ramo han señalado que las Energías Renovables No Convencionales (eólica, solar, geotérmica, etc.,) podrían alcanzar el 10% del total de la energía eléctrica de Chile de aquí al 2020, por lo que el problema se mantiene.



Hidráulica: 37,2% **Gas Natural**: 35,2% **Carbón:** 15,4%

Petróleo: 10.8% **Biomasa**: 1,3% **Eólica**: 0,1%

Figura 1.14 *- Principales fuentes de energía utilizadas en Chile para la generación de electricidad.*

Se ha hecho un importante avance en promover políticas y buenas prácticas de eficiencia energética, involucrando activamente a la población, con lo cual se ha logrado una disminución interesante del consumo y las autoridades prevén que la política en esta materia podría hasta un 20% de ahorro en corto plazo, pero el desafío fundamental consiste en determinar cómo se va a producir energía para responder al aumento de la demanda. Hasta ahora, el principal avance en esta materia ha sido lograr consenso de que se requiere una matriz diversificada que considere los costos económicos, sociales, ambientales y de independencia geopolítica.

Muchos especialistas consideran que la opción más a la mano para aumentar la potencia del sistema es la generación hidráulica, seguida del carbón. Esto, sin duda, haciendo un poco caso omiso del impacto ambiental que representan, la primera por la modificación de los

ecosistemas de emplazamiento -algo que en el pasado reciente ha generado un profundo malestar social-, y en el caso del carbón, por los altos índices de contaminación atmosférica que produce. Además, ambas opciones tienen debilidades por el lado de la seguridad de suministro. En el caso de energía hidráulica dado que su rendimiento es muy variable, dependiendo de si es un año muy seco o muy lluvioso, llegando a variar hasta tres veces dependiendo de la pluviometría; en el caso del carbón si bien su precio es más estable que el petróleo o el gas natural, por ejemplo, es de esperar que en el corto plazo surjan importantes restricciones a su utilización por parte de la comunidad internacional, a causa de su directa incidencia en el cambio climático.

Según la IEA (International Energy Agency), la Generación Núcleo Eléctrica podría llegar a representar entre un 19% y un 22% de la matriz energética mundial hacia el año 2050. De ser así, se reducirían entre un 6% y un 10% las emisiones de CO_2 por ahorro de combustibles fósiles.

En el caso de Chile, uno de los factores importantes a considerar es la regla que establece que ninguna central nuclear debería proveer más del 10% de la potencia total del sistema, para evitar cortes de suministro en el caso de que deba detener su funcionamiento por alguna razón. Al margen de esto, las ventajas que representa para Chile deben equilibrarse principalmente con el factor costo y, sobre todo, el de la seguridad.

Conclusiones

El sol, el viento, las mareas, los ríos, son muy importantes en el desarrollo de energía en aquellas regiones de la Tierra donde existen condiciones especiales, a menudo únicas. Sin embargo, estas tecnologías aún no pueden sustituir al carbón, el gas o a la energía nuclear para producir los volúmenes de electricidad que se requieren. Sin duda son en su mayoría tecnologías mucho más limpias y amigables con el medioambiente y ya aportan su contribución a la energética mundial, pero no se puede pensar en que constituirán la base para satisfacer las necesidades de energías del planeta. Por desgracia, no hay muchos lugares que tengan las posibilidades para la construcción de represas necesarias para acumular agua, tal como el almacenaje de grandes cantidades de energía eléctrica en gigantescas baterías todavía no se han logrado.

Es evidente que las fuentes renovables de energía no pueden abastecer de forma suficiente la necesidad de energía eléctrica o compensar las máximas demandas. Pueden resolver el problema entre un 10–20% y si en el futuro la humanidad encontrara modos de almacenaje eficaces de la energía eléctrica recibida de estas fuentes aumentará indudablemente su contribución, pero todavía quedará por resolver otros aspectos complejos e incluso problemáticos de su uso, sobre los cuales se habló en este capítulo.

Por contrapartida, el análisis del estado y de las tendencias actuales permite concluir que, en una perspectiva de por lo menos 100 años, no hay riesgo de restricción al desarrollo de la energía nuclear por causa de limitación de los recursos de materias primas. El mercado mundial de combustibles para centrales nucleares y reactores de investigación está desarrollado y se encuentra en un estado estable. Las anteriores variaciones notadas en los precios del combustible fueron provocadas por los cambios de los pronósticos del desarrollo de la energía nuclear y en el mercado de productores. Durante medio siglo de utilización de la energía nuclear nunca ha habido casos de interrupción del suministro de combustible, relacionados con la falta de fuentes de materia prima. Al contrario, en concordancia con las restricciones anti monopólicas, en varias centrales nucleares se utiliza combustible de distintos proveedores. Dadas las circunstancias, esto es un estímulo adicional para el desarrollo de los ciclos de combustible y el aumento de la seguridad del mismo. Por ejemplo, se planea la transición de la central nuclear Temelin del combustible de la marca Westinghouse al combustible de la marca TVEL. A su vez, las centrales nucleares de Ucrania planean la ampliación del uso del combustible de la producción Westinghouse.

Cerca de los países que desarrollan de forma intensiva la energía nuclear (Rusia, India, Japón, etc.) y que poseen reservas limitadas de uranio, se estudian búsquedas alternativas

de la resolución del problema de abastecimiento de combustible a una perspectiva lejana, tales como la introducción del ciclo de combustible cerrado con el uso de reactores reproductores a neutrones rápidos; la elaboración del ciclo de combustible del torio; y la utilización de las reservas de las armas nucleares.

En 15 años de ejecución del Programa Internacional “Megatoneladas y megavatios” la mitad de las centrales nucleares de los Estados Unidos trabaja con combustible obtenido del uranio enriquecido ruso y Rusia ha recibido de los Estados Unidos más de 26 toneladas de uranio de baja calidad, que alcanza solo para la satisfacción de la energía nuclear rusa por un lapso de pocos años.

Según las estimaciones de expertos occidentales, la reducción de los programas militares traerá consigo la obtención de cerca de 750 toneladas equivalente de uranio natural para combustible de centrales nucleares. Conforme a la práctica mundial que se ha formado entre las centrales de energía nuclear y los reactores agua-agua (VVER), se devuelven a Rusia el combustible usado para su siguiente reprocesamiento y almacenaje, lo cual resuelve el problema posterior con el combustible nuclear gastado.

Dados los importantes desafíos que enfrenta la sociedad global en materia de energía y cuidado del medioambiente, el escenario parece propicio para profundizar en el perfeccionamiento de la tecnología nuclear. Sus eventuales inconvenientes, como quedó sentado en este capítulo y se demostrará en detalle en los posteriores, dicen relación con los sistemas de seguridad de su operación, antes que con la disponibilidad de recursos o materias primas y, he acá su gran ventaja, con el mínimo impacto ambiental que representan.

Bibliografía

1.1.- Risks and benefits of nuclear energy, OECD, NEA, 2006.

1.2.- OECD International Energy Outlook 2008.

1.3.- USGS, 2004.

1.4.- World Energy Outlook, IEA, 2006.

1.5.- BP Energy Statistics, 2008.

1.6.- BP Statistical Review of World Energy, June 2008.

1.7.- World Energy Outlook 2008, IEA 2008.

1.8.- Torio, sus recursos de materias primas, química y tecnología, Moscú, 1960.

1.9.- Zelikman A. N., Metalurgia de metales raros, torio y uranio, Moscú, 1961.

1.10.- Emeljanov V. S, Evstjuh y N. A. I., Metalurgia del combustible nuclear, Segunda Edición, Moscú, 1968.

1.11.- Siborg G. T, Kats de J., Química de los elementos actínidos, traducción del inglés. Moscú, 1960.

1.12.- Andrew Pikford, "Vía del desarrollo de la energética australiana", Informe del Centro de Análisis Estratégico (Future Directions International), 6 de octubre del 2005, Pert, Australia.

1.13.- "Rusia en la política global", № 4, Julio - Agosto del 2006.

1.14.- ¿Va a haber más Torio?, Dinero, 03 de agosto del 2007.

1.15.- La India no se privara del torio, AtomInfo. Ru 25.09.2008.

1.16.- El primer AHWR-300 de torio puede ser construido cerca de Mumbai, AtomInfo. Ru 28.04.2008.

1.17.- Economía de la energía nuclear, MIFI, Moscú, 2004.

1.18.- La India y Sri Lanka pueden cooperar en la energética del torio, AtomInfo. Ru 16.10 Anil Kakodkar.

1.19.- Evolución del programa nuclear de la India: argumentos y perspectivas, AtomInfo. Ru 20.01.09.2008.

1.20.- La India comenzará la construcción de un reactor de torio a más tardar dentro de un año, AtomInfo. Ru 20.10.2008.

1.21.- A. N. Prasad, Transacción nuclear con los Estados Unidos puso a la India en una dependencia del uranio, AtomInfo. Ru 20.01.2009.

1.22.- Kakodkar: Torio, el mejor método contra el plutonio, AtomInfo. Ru 20.01.2009.

1.23.- Reactor AHWR - el primer paso de la India en el camino a la energética del torio, AtomInfo. Ru 20.01.2009.

1.24.- En la India celebran la puesta en marcha del reactor de investigación de torio. AtomInfo. Ru 20.01.2009.

1.25.- El primer comprador de la tecnología de torio será un país novato. AtomInfo. Ru 20.01.2009.

1.26.- India – status actual de la energética del torio, AtomInfo. Ru 20.01.2009.

1.27.- Una compañía de los Estados Unidos propone a la India reactores de torio, que no necesitan transformación química CND (Combustible Nuclear Desechable), y son capaces de garantizar la independencia energética de la India, AtomInfo. Ru 20.01.2009.

1.28.- J. I. Korjakin. Alrededores de la energía nuclear de Rusia: nuevas llamadas, Moscú: Editorial GUP NIKIET. 2002.

1.29.- Libro Blanco de la Energética Nuclear. Bajo la redacción del Prof. E. O. Adámov. Moscú: Editorial GUP NIKIET. 2001

1.30.- Política Energética de la Federación Rusa: Resumen, París, Agencia Internacional de Energía. 1996.

1.31.- Programa de desarrollo de la energía nuclear de la Federación Rusa en los años 1998-2005. Perspectiva hasta el año 2010. Moscú: TSNII de Dirección, Economía e Información, 1977.: Resumen. París: Agencia Internacional de Energía. 1996.

1.32.- Eficiencia de la tecnología de la energía nuclear: criterios del sistema de la dirección del desarrollo / S.I. Rachkov. Moscú: EUFE (Empresa Unitaria Federal Estatal) TSNIIATOMINFORM. 2008.

Capítulo 2

Energía Nuclear

2.1. Aspectos generales

En más de medio siglo de desarrollo de la tecnología nuclear, la industria para la generación de energía núcleo-eléctrica tiene en la actualidad una importancia similar a la hidroeléctrica en el balance mundial. No obstante, desde finales del siglo XX la comunidad internacional está tomando cada vez mayor conciencia sobre el medioambiente y al estudiar las ventajas de la energía nuclear en comparación con otras tecnologías, ésta ha comenzado a cobrar creciente atención y protagonismo.

Para un grupo importante de países (entre ellos Francia, Japón y Estados Unidos) la falta de recursos propios de petróleo o gas ha sido motivo suficiente para integrar la tecnología nuclear en la estructura de su matriz energética. Otras naciones consideran la opción nuclear para diversificar su matriz o simplemente para lograr una independencia total en esta área. Además, un hecho sobre el que existe un amplio consenso es que el desarrollo de la industria nuclear es una forma limpia y segura de obtener hidrógeno, el cual permitirá, en el futuro cercano, reemplazar el combustible fósil usado por los distintos medios de transporte (terrestre, marítimo y aéreo). Esto en breve tiempo más será atractivo para las distintas organizaciones ecologistas, por cuanto se sabe que un tercio de los gases de efecto invernadero son de exclusiva responsabilidad del trasporte, en todas sus formas. Actualmente no se ha hablado mucho sobre la materia, dado que, por un lado los esfuerzos se han encaminados a mitigar y reducir las emisiones de gases de la industria estacionaria y, por otro lado, aún falta desarrollar en forma comercial los motores que permitan usar hidrógeno. Pero solo es cuestión de tiempo.

Otro punto relevante es la necesidad de considerar el potencial de la tecnología nuclear como un instrumento para el desarrollo de la economía mundial. Hoy con el uso de los actuales reactores (no de última generación) y considerando el llamado “ciclo abierto” de combustible (que no utiliza el reciclaje del Uranio gastado, por lo que el ciclo termina con su depósito en contenedores especiales de lenta degradación, la industria internacional dispone de aproximadamente 100 años en reservas de Uranio a precios razonables (Figura 2.1 y Figura 2.2)[23].

[23] Elaboración propia de Rosatom, Federación de Rusia.

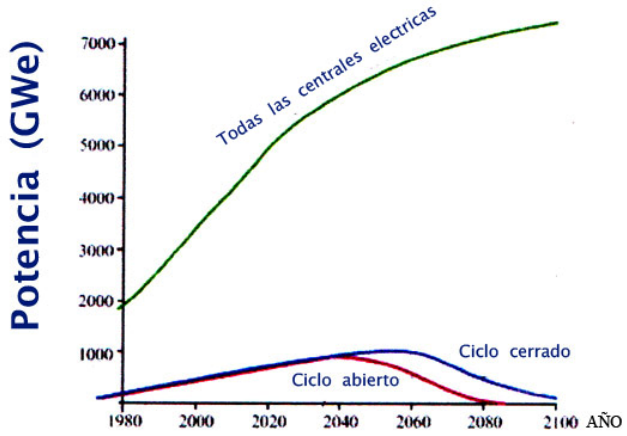


Figura 2.1 - *Escenario aproximado del crecimiento de la potencia de generación nuclear sin reactores rápidos (con las reservas potenciales del uranio empobrecido ~ 10 millones de toneladas)*

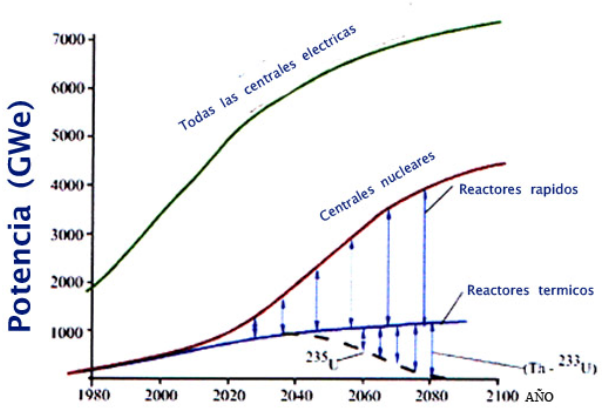


Figura 2.2 - *Escenario aproximado del crecimiento de la potencia de generación nuclear, incluyendo los reactores rápidos (con reservas potenciales de uranio empobrecido – 10 millones de toneladas)*

Sin embargo, la tendencia que está cobrando relevancia consiste en usar tecnología de última generación y "ciclo cerrado" de combustible, el cual permite procesar el Uranio para ser reutilizado nuevamente en sus reactores, lo que aumenta su rendimiento, fortalece el suministro en el mercado internacional sin una variación significativa en los precios y, además, reduce notablemente la cantidad de desechos resultantes, por lo que el impacto

ambiental es considerablemente menor. A esto debemos sumar la opción de utilizar Torio en reemplazo del Uranio, alternativa ya disponible en Rusia y Estados Unidos, la cual permite obtener rendimientos aun mayores y multiplicar por lo menos seis veces el período de uso de la actual reserva de combustible nuclear (es decir de 100 aumenta a 600 años esta reserva).

Basados en estos elementos –alta tecnología, ciclo cerrado de combustible y un adecuado mix Torio/Uranio- algunos científicos e investigadores que estudian el cambio climático y la incidencia que tienen en este hecho la actual industria energética, se atreven a considerar a la energía nuclear como renovable, opinión a la que suscriben también algunas organizaciones ambientalistas.

Después de un periodo de estancamiento en los años 90, tanto en su evolución tecnológica como en la construcción de nuevas centrales nucleares, hoy se observa un resurgimiento de la energía nuclear, especialmente en los países más industrializados, tales como China, India, Rusia, Estados Unidos, Francia y Finlandia.

En Estados Unidos se planea la presentación de solicitudes de licenciamiento de 25 nuevos reactores, en Canadá fueron presentadas dos solicitudes para la preparación de los emplazamientos. En Gran Bretaña, las nuevas centrales nucleares están incluidas en los planes de la estrategia energética. Conjuntamente la Comisión Reguladora Nacional (NRC) de Estados Unidos certificó el proyecto AP-1000 con sistemas pasivos de seguridad de la firma Westinghouse para la construcción de nuevas centrales nucleares en territorio estadounidense.

En el 2003, India comenzó la construcción de un reactor a neutrones rápido de 500 MW de potencia con inicio de operación en 2010, y para el 2020 se planea introducir en operación cuatro reactores en base a combustible metálico de 1.000 MW cada uno.

En el marco del proyecto internacional del desarrollo de innovación de la energía nuclear (INPRO), se acordó perfeccionar el uso del combustible reciclado y el manejo de los residuos radiactivos en países que no disponen de territorio suficiente o adecuado, así como la seguridad de la operación de las centrales nuclear en un sistema energético de potencia limitada.

Los nuevos reactores de neutrones rápidos y el ciclo cerrado de combustible, además de las continuas mejoras en la seguridad de la industria, elevan cada vez más la eficiencia y competitividad de la energía nuclear frente a otras alternativas actualmente en uso.

A partir del año 2000, la Federación Rusa ha incentivado el que los principales países poseedores de la tecnología nuclear -entre los cuales destacan Estados Unidos, Francia y Rusia- adopten una estrategia de cooperación internacional mutua, basada en distintos acuerdos, algunos al amparo de la ONU (Nueva York, septiembre del 2002), otros al amparo del OIEA, como el Proyecto INPRO, y el más conocido, el proyecto ITEM, que significó la asociación de los principales países nucleares para desarrollar un ambicioso proyecto que permitirá a las futuras generaciones producir energía nuclear por "fusión" y no fisión, como actualmente esta se realiza, lo que permitirá prácticamente eliminar la producción de desechos nucleares de los actuales reactores en uso.

Todo esto permitió a esta industria diferenciarse del modo que había actuado hasta el año 2000, especialmente en el área de la eficiencia del uso del combustible, de la seguridad, el manejo de los desechos y la investigación y desarrollo de nuevos reactores eficientes.

Por su parte Estados Unidos, en su Política Energética Nacional, estableció las bases para la consolidación de un grupo importante de países con tecnología nuclear, durante el IV Foro Internacional de la Generación Eléctrica (GIF), ocasión en la que se seleccionaron seis modelos de reactores recomendados para ser usados en esta industria. Un trabajo similar fue realizado con posterioridad en Rusia, donde se seleccionó como uno de los reactores importantes para el futuro de la generación núcleo-eléctrica el reactor a "neutrones rápidos en base a plomo como refrigerante", el cual también fue replicado en el proyecto Internacional (GAINS) que sugiere desarrollar el ciclo cerrado de combustible nuclear (reciclaje del uranio utilizado) tanto en los reactores térmicos como en los rápidos.

En el transcurso de la historia de la industria nuclear, que es relativamente corta, ya que abarca apenas 50 años, esta se ha caracterizado por un crecimiento explosivo en su inicio, alcanzando un crecimiento del orden del 30% anual en los años 70, para luego decaer a partir de los años 80. Este descenso se produjo en parte por la oposición de sectores ambientalistas, que en la práctica significó el aumento de las exigencias en el proceso de licenciamiento de las centrales en construcción, lo cual aumentaba los gastos, demoraba el retorno de los recursos invertidos y disminuía por lo tanto el negocio financiero del tema. También influyó el bajo costo -en aquella época- de los combustibles fósiles, que significó la detención del crecimiento nuclear y esto a su vez provocó rápidamente un alza desmedida en el consumo de combustibles fósiles para satisfacer la creciente y constante demanda de energía tanto por la población como por la industria en general.

A comienzos de los años 80 Estados Unidos detuvo la construcción de nuevas centrales nucleares. La causa más evidente de esta decisión fue la avería en la central nuclear Three Mile Island-2.

El grave accidente en la central nuclear de Chernobyl ocurrido en 1986 amplió la oposición a la energía nuclear, especialmente en Europa. También la tendencia en algunos países industrializados a renunciar a la regulación estatal sobre la producción de energía, originó la aparición de potencia sobrante en el mercado libre, esto a su vez influyó en el crecimiento de los precios de la electricidad, descenso de los ingresos de las compañías energéticas y al aumento del riesgo en las inversiones en las centrales eléctricas.

En cuanto a la inversión en nuevos proyectos se hizo relevante el índice del plazo del retorno de capital, justamente el eslabón débil de la industria nuclear por entonces, ya que para la construcción de una central eran necesarios plazos largos y gastos iniciales considerables. En contra partida estaba presente en esa época la alternativa del gas natural. Era muy atractivo por su bajo precio y cantidades aparentemente ilimitadas, asociado también a la errónea idea de que esa fuente de energía era un combustible limpio. Todo esto llevó en definitiva, a la reorientación de las inversiones de la industria nuclear hacia la del gas natural.

Si bien la falla en la central nuclear de Chernobyl y la consiguiente eliminación, en muchos países, del apoyo estatal a esta industria le valieron una mala imagen ante la opinión pública, el hecho es que terminó siendo una coincidencia de factores positivos, puesto que potenciaron la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de seguridad y eficiencia, algo que resultaría determinante posteriormente para la consolidación de esta tecnología como una fuente segura, estable y económicamente atractiva para la generación eléctrica.

Sin embargo a partir del 1990, gradual y sostenidamente se volvió a recuperar el entusiasmo inicial. Esta vez no en base a la novedad, como en los años 60, sino al considerarla una herramienta tecnológica eficaz para, en primer lugar, permitir disponer de un sistema que produce gran cantidad de energía en una pequeña superficie de terreno, en segundo lugar, no producir gases de invernadero que inciden en el cambio climático y, en tercer lugar, hacerlo a un costo razonable y estable en el tiempo. Sumando estos tres factores, varios gobiernos han concluido, que esta industria, con los avances señalados, permite a una nación proyectar su economía sobre cifras conocidas y estables y paralelamente cumplir con las obligaciones ambientales internacionales, como lo es el “Protocolo de Kyoto”

Actualmente se observan mercados globalizados muy competitivos con un ritmo extremadamente rápido en la renovación de las distintas tecnologías que usa la población y la industria, tales como, celulares, automóviles, computadores, etc., lo cual involucra un crecimiento cada vez mayor del consumo de energía, especialmente en los países en vías de desarrollo (no tanto en los desarrollados, como Estados Unidos, Alemania y Japón, que alcanzaron ya su “peak”). Los futuros escenarios en relación al consumo de energía mundial predicen que esta cifra deberá duplicarse durante los próximos 50 años. Entonces, la

pregunta, que cualquier experto en la materia se haría es: ¿Cómo enfrentará la humanidad esta creciente demanda sin llegar al nivel de producción de gases de efecto invernadero que implique llegar a un límite en que sea irreversible el proceso del calentamiento global el que actualmente está en proceso?.

En respuesta a esta pregunta, la mayoría de los expertos coincide que solo se puede hacer mediante la adopción de las siguientes medidas:

- Mejorar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica actualmente generada.
- Incentivar el uso de fuentes renovables de energía, tales como: la energía eólica, solar, geotérmica y la biomasa.
- Capturar las emisiones de carbono en las centrales eléctricas que trabajan en base a combustibles fósiles, en particular las de carbón.
- Optar por la energía nuclear.

De estos cuatro métodos, el único que aporta en forma significativa, gran cantidad de energía al sistema y en condiciones y forma ya explicadas, es la energía nuclear. Todas las anteriores son importantes de aplicar en la medida que sea posible y se dispongan los recursos, pero serán insuficientes si se quiere controlar las emisiones de gases de efecto invernadero en un plazo razonable, a fin de poder revertir la incontrolable tendencia actual en este aspecto.

En los acuerdos internacionales desarrollados por los principales países que detentan esta tecnología, especialmente en los proyectos INPRO y GIF, se llegó a la conclusión que la energía nuclear es hoy una alternativa real y seria para combatir el cambio climático, por ser esta una tecnología que emite una cantidad insignificante de gases de efecto invernadero. Pero también por contrapartida, se llegó a la conclusión que la industria nuclear, para que se desarrolle en gran escala como un medio para combatir el cambio climático, debe a la brevedad responder a cuatro aspectos claves:

- **Costos.** En la actualidad en el mercado libre, no siempre esta transparentado el costo real de la generación de energía eléctrica generada por las centrales nucleares. Se dice que no es competitivo en comparación con la generada en las centrales de carbón y de gas natural. Sin embargo se sabe y lo cual hay que precisar, que con la introducción en la operación de los reactores de IV generación, esta diferencia puede ser reducida, especialmente a expensas de una disminución razonable de la inversión inicial por la disminución en los tiempos de construcción

(de 12 años a 7 años para un reactor de 1.000 MW, y de 8 años a 5 años para un reactor de 400 MW) y a la reducción en los gastos de explotación. También hay que considerar, el gran costo ecológico que generan las centrales a carbón y a gas, cifras que se deben cuantificar para en definitiva compararlas adecuadamente con la generación eléctrica nuclear.

- **Seguridad.** La industria nuclear es considerada por una parte importante de la sociedad como una amenaza a su seguridad, al medioambiente y a la salud. Hay también una preocupación por un transporte confiable y seguro de los materiales nucleares, así como también por la protección de las centrales nucleares frente a eventuales ataques terroristas. Por lo tanto es imprescindible dar a conocer a la sociedad la realidad estadística existente respecto a los riesgos inherentes al uso del átomo en la generación eléctrica y las medidas adicionales que se están tomando hoy día. Una adecuada información despejará muchas dudas a la población en este terreno.

- **Desechos**. Debe demostrarse fehacientemente que el depósito de los desechos finales, aquellos que no pueden ser reciclados, es una operación que no produce impacto negativo al medioambiente en donde estos son depositados y los riesgos, si bien existen, como en toda industria humana, estos son acotados y controlados. También se debe destacar las ventajas del ciclo cerrado de combustible: mejor rendimiento, aumento del suministro en el mercado internacional e impacto ambiental considerablemente menor.

- **Armas Nucleares**: Es un tema que hay que considerar, especialmente debido al terrorismo. El problema radica principalmente en que cuando un país o una empresa llega a disponer de tecnología de reprocesamiento de combustible nuclear, accede también a la posibilidad de extraer y reprocesar plutonio, elemento con cual se puede –siempre y cuando se tenga los conocimientos y elementos tecnológicos necesarios- crear un arma nuclear no autorizada. Sin embargo, esta tecnología está hoy en día disponible solo en aquellos países autorizados que reprocesan el combustible nuclear, es decir, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, China y Rusia, hecho que reduce, aunque no lo elimina, el riesgo de un uso inadecuado de este conocimiento.

La industria nuclear ya tiene 50 años de vida, los reactores que se han construido hasta la fecha, la mayor parte son de antigua generación, y ya están llegando al final de su vida útil. Los diseños originales estaban la mayoría proyectados para 30 años, en muchos casos este rango ya se ha prolongado por modernizaciones realizadas al reactor, pero, las fechas igual

están llegando a su límite. Esto significa que se tendrá, en las próximas décadas una renovación importante de centrales nucleares, la que va ser satisfecha por medio de reactores de nuevas generaciones, de los cuales los de IV generación, actualmente ya existentes, han mejorado significativamente su eficiencia especialmente en lo relacionado al uso de nuevos tipos de combustibles, y al reciclaje de estos, lo que permite alejar el temor a que el combustible nuclear es una limitante para la expansión de esta industria. Una representación esquemática de este proceso se puede apreciar en la Figura 2.3[24].

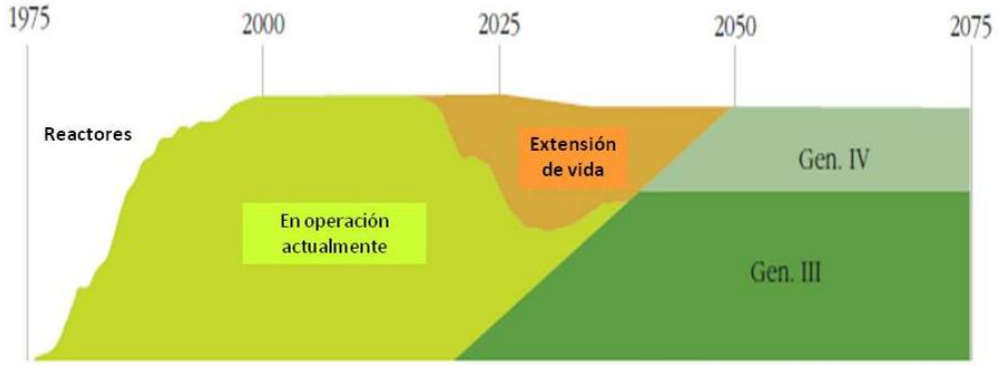


Figura 2.3 - *Desarrollo de los reactores nucleares.*

De acuerdo con el informe del OIEA, en el 2007, en un escenario optimista la potencia instalada de las centrales nucleares en el mundo hasta 2030[25] crecerá hasta 670 GWT, tomando en cuenta las unidades que se encuentran actualmente activas, también las que se van a renovar y los nuevos proyectos que se pondrán en marcha.

En la Tabla 2.1 se presentan los datos de la potencia eléctrica instalada de las Centrales Nucleares y la parte de la energía eléctrica generada por estas en el 2006, en los países de la OECD[26]. En Rusia[27], por su parte, El 17% de la generación proviene de 31 unidades nucleares que están en operación actualmente. Sin embargo, en el año 2008, el parlamento de la Federación Rusa instruyó al Ministerio de Energía nuclear ROSATOM, incrementar este porcentaje a un 25 %, en un plazo de 15 años. En Ucrania hay 15 bloques de generación núcleo-eléctrica que generan el 50% del total de la energía eléctrica. En Lituania y Armenia

[24] Figura tomada del Foro Nuclear Español, España.
[25] Energy, Electricity and Nuclear Power Plants for the period up to 2030, IAEA, Vienna, 2007.
[26] NEA 2006 Annual Report, OECD Nuclear Energy Agency, 2007.
[27] Programa del desarrollo de la energía nuclear de la Federación de Rusia en 1998-2005 y la perspectiva hasta 2010.

la parte de las centrales nucleares en la generación de la energía eléctrica esta cerca del 70%.

Tabla 2.1 *- Potencia eléctrica instalada de las centrales nucleares y la parte de la energía eléctrica generada por las centrales nucleares en 2006.*

Países	**Cantidad de unidades**	**Potencia instalada [GW]**	**Necesidad de uranio [t]**	**% de energía eléctrica generada por las Centrales Nucleares**
Bélgica	7	5,8	880	54
Canadá	20	12,5	1.600	16
República Checa	6	3,5	664	32
Finlandia	4	2,7	467	28
Francia	59	63	7.184	78
Alemania	17	20	3.400	27
Hungría	4	1,8	379	38
Japón	55	47	8.352	34
México	2	1,4	200	4,7
Países Bajos	1	0,5	65	3,7
Corea	20	17	3.600	39
Eslovaquia	5	2,0	491	58
España	8	7,3	1.726	20
Suecia	10	8,9	1.600	45
Suiza	5	3,2	270	38
Gran Bretaña	19	11	2.165	19

Países	Cantidad de unidades	Potencia instalada [GW]	Necesidad de uranio [t]	% de energía eléctrica generada por las Centrales Nucleares
EE.UU.	104	100	22.890	19
Total OECD	346	308	55.933	23

En China e India, países con alto índice de crecimiento, aunque la proporción de la energía eléctrica generada por las centrales nucleares actualmente es pequeña, sin embargo estos países tienen considerado en sus planes a corto plazo expandir el uso de esta tecnología para diversificar su matriz eléctrica y satisfacer de esta forma su demanda futura aportando al sistema no menos de un 20% de energía nuclear.

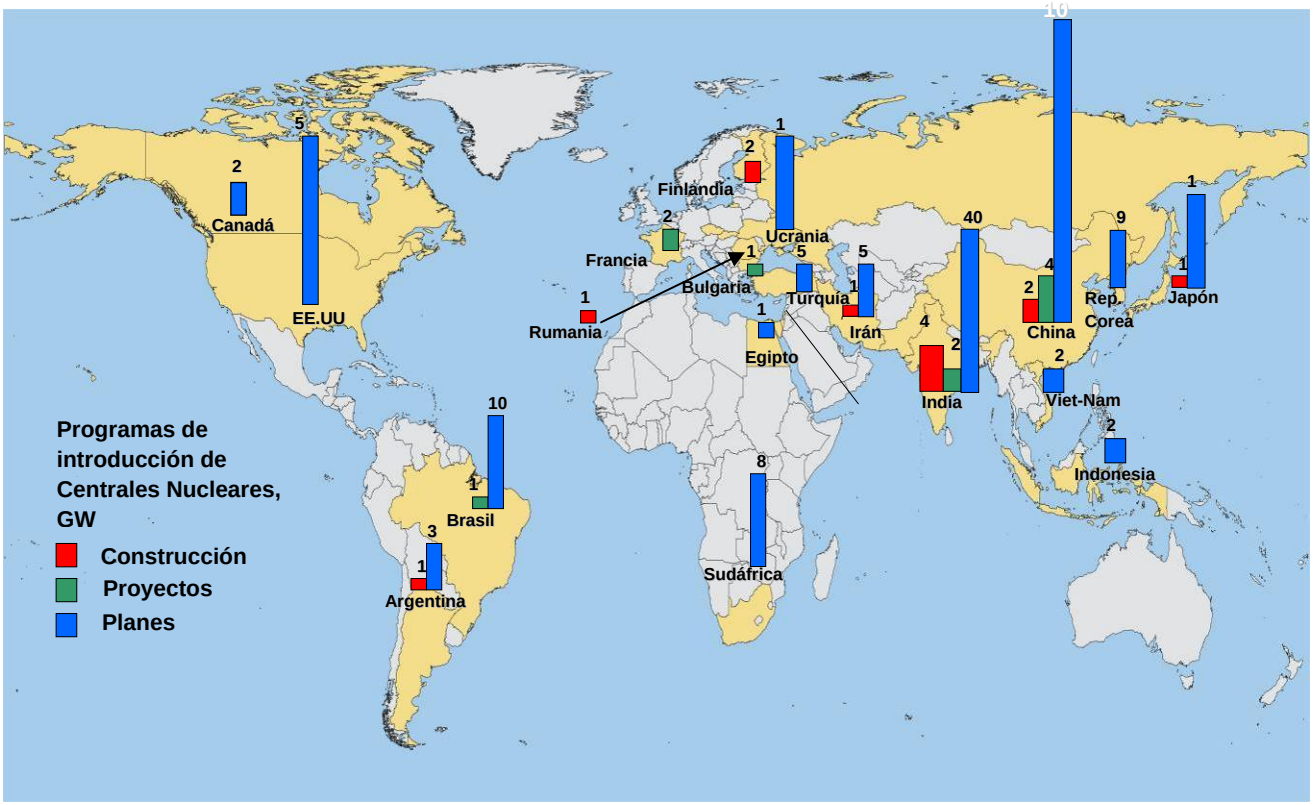


Figura 2.4 *- Programas de puesta en marcha de Centrales Nucleares en varios países.*

2.2. El combustible nuclear

En la industria nuclear el problema del abastecimiento de combustible se ha resuelto mejorando la tecnología a expensas del reprocesamiento de los materiales de desecho (empleando el ciclo cerrado de combustible, se trata en el Capítulo 4) y al uso de nuevos combustibles como el Plutonio, que se obtiene del reciclaje y de las armas nucleares y del torio, que se encuentra en la naturaleza en una mayor proporción que el uranio y su eficiencia es mayor que este. Esto asegura abastecimiento de combustible para la Industria Nuclear para 600 años y más.

A continuación se presenta un resumen analítico de los datos actuales acerca de las reservas de Uranio y Torio, además de la dinámica de sus precios.

2.2.1. Perspectivas para el uso del Uranio

De acuerdo con la "Lista Roja del Uranio" (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED), 2005), en 2004 se extrajeron 41.250 toneladas de uranio, 440 reactores comerciales consumen 67 mil de toneladas del uranio por año. La producción del uranio abastece el 60 % de su consumo, ya que la otra parte se extrae de antiguas ojivas nucleares.

Según la información de las fuentes pesimistas, las reservas mundiales descubiertas de uranio bastarán para cubrir las necesidades de combustible nuclear solo por 80 años, sin embargo los especialistas discrepan de esta afirmación por las siguientes razones:

- Esta estimación está hecha sólo en base a los yacimientos antiguos descubiertos en proceso de explotación. No se consideran nuevos descubrimientos, por ejemplo, en Australia, India y Brasil. En particular, en este último país, se realizaron solo prospecciones en un tercio de la superficie, falta hacer prospección en más de la mitad del país.

- La valoración dada está referida sólo a los reactores con neutrones térmicos y con el ciclo tradicional abierto de combustible. No se considera el uso del ciclo cerrado de combustible.

- No se consideró el perfeccionamiento de la tecnología química y el aumento de los precios del uranio que garantiza la rentabilidad del procesamiento de minerales relativamente pobres.

- No se consideraron las reservas mundiales acumuladas en el plutonio de las armas que aseguran una producción considerable de combustible para los reactores nucleares energéticos (cerca del 25 % de los requerimientos actuales).

La Tabla 2.2 presenta información ilustrativa sobre las reservas mundiales de uranio. A su vez.

Tabla 2.2 - *Reservas mundiales de uranio*[28].

País	Toneladas Uranio	% de reservas mundiales
Australia	1.243.000	23
Kazajastán	817.000	15
Federación de Rusia	546.000	10
República Sudafricana	435.000	8
Canadá	423.000	8
Estados Unidos	342.000	6
Brasil	278.000	5
Namibia	275.000	5
Nigeria	274.000	5
Ucrania	200.000	4

[28] OECD/NEA and IAEA, Uranium 2007: Resources Production and Demand ("Libro Rojo").

Uzbekistán	111.000	2
India	73.000	1
Mongolia	62.000	1
China	68.000	1
Otros	210.000	4
Reservas mundiales	5.469.000	

Para la carga del reactor nuclear son necesarias algunas decenas de toneladas de combustible. Según la World Nuclear Association, en el año 2007 en el mundo operaban 440 reactores nucleares, 32 – se encontraban en construcción, 288 - se planeaban construir. Un reactor promedio para su primera carga completa necesita 600 t de uranio y consume en lo sucesivo entre 150 y 200 t por año (FINANCE.UA 30.08.2007).

La necesidad de uranio en la energética nuclear mundial, está determinada en aproximadamente 80 mil toneladas por año. La extracción de uranio constituye cerca de 60 mil toneladas, y las otras 20 mil toneladas son completadas por el uso repetido de materiales altamente enriquecidos, obtenidos del desmantelamiento de las ojivas nucleares.

El precio del óxido natural del uranio U_3O_8 puede alcanzar 200 dólares de los Estados Unidos por kilogramo y oscila en el mercado mundial cerca de 100 dólares de los Estados Unidos por libra, según la información de la compañía UXC. Conforme a los datos del Banco Augonaut Securities el precio medio del uranio en contratos a largo plazo es de 80 dólares de los Estados Unidos por libra.

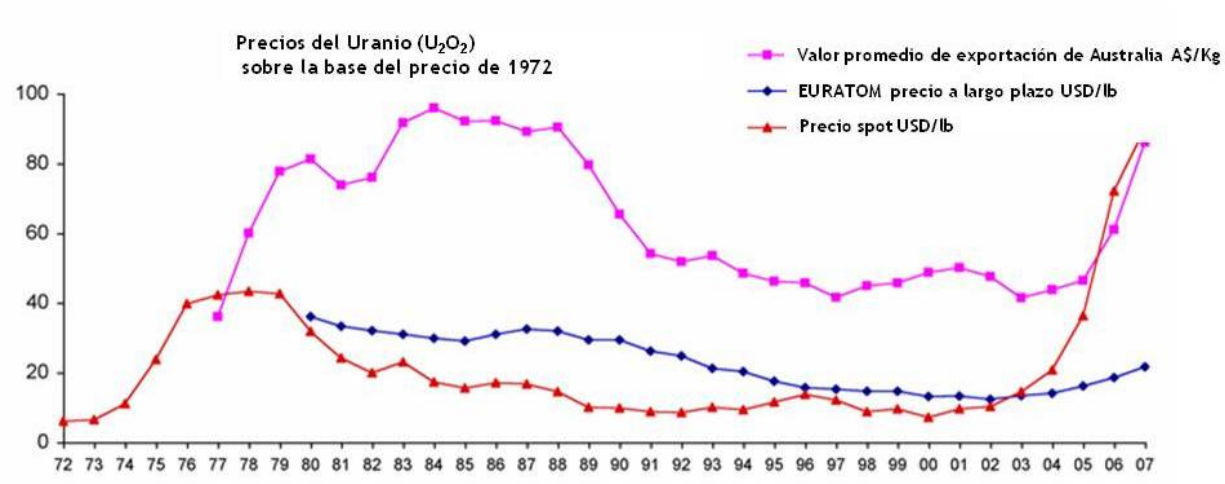
La fase más costosa de la producción del combustible nuclear es el proceso del enriquecimiento de uranio o su división isotópica, o sea el aumento del contenido del isótopo uranio-235, que en el uranio natural es de 0,711%, hasta 3-5% en el combustible energético. Los gastos de este proceso superan el 60% del costo total de la caseta de combustible cargada en el reactor, mientras que el costo del uranio natural consumido y el costo de la fabricación de la caseta de combustible constituyen menos del 25% del costo total.

Los precios mundiales del uranio sufren variaciones dependiendo de la demanda y los cambios de las perspectivas de la energía nuclear. La firma Trade Tech LLC sigue de cerca los precios del uranio desde el año 1968. En el periodo 2003-2007 las acciones de 12 compañías de extracción de uranio han subido 5 veces de precio. A mediados del 2008 el costo del metal fue de $129 por libra. Conforme a las apreciaciones de RBC Capital Markets del Banco Real de Canadá, en el 2008 la compañía Cameco y otros productores de uranio pudieron producir 46.000 toneladas o 120 millones de libras de metal en comparación con su producción de 39.655 toneladas en el 2007, según la Asociación Mundial Nuclear.

Con el aumento de los precios del combustible fósil ha aumentado el costo del uranio en relación con el renacimiento de la industria nuclear. Desde comienzos del 2008 el costo del uranio crecía, pero según el fondo JP Morgan Asset Management, que dirige los activos de materias primas, debe disminuir hasta costar 70 dólares de los Estados Unidos por libra.

Las compañías energéticas compran habitualmente el uranio según contratos con un plazo de ejecución de cinco a diez años para garantizar los futuros suministros y el nivel de costos. Con estas condiciones el costo de la libra del uranio está cerca de $95, según Ux Consulting Co. En el 2007 según los contratos a largo plazo se vendieron cerca de 200 millones de libras de uranio.

Según el pronóstico del OIEA hasta el año 2030[29] la potencia de la energía mundial nuclear alcanzará los 519 GW, y además el costo del uranio llegará hasta 200 dólares de los Estados Unidos por libra (Macquarie Bank).



[29] Energy, Electricity and Nuclear Power Plants for the period up to 2030, IAEA, Vienna, 2007.

Figura 2.6 - *Dinámica del precio de uranio tomando como base el año 1972. (Fuente: Asociación Nuclear Mundial: http://world-nuclear.org/info/inf22.html).*

Tabla 2.3 - *Distribución geográfica de los recursos de uranio y su extracción.*

País	% de reservas comprobadas*	% de extracciones (año 2005).
Australia	24	22
Canadá	9,5	28,5
Estados Unidos	7	2
Total OECD	43	53,5
Brasil	6	1
Namibia	6	7
Níger	5	8
África del Sur	7	2
Kazajistán	17	10
Federación Rusa	3,5	8
Uzbekistán	2,5	5,5

* Recursos generales determinados, explotados por menos de 130 dólares por tonelada de uranio.

2.2.2. Perspectivas del uso del Torio

El torio posee una serie de ventajas en comparación con el uranio para ser usado como combustible en los reactores nucleares, gracias a las diferencias de sus características y por su mayor abundancia en la naturaleza. El contenido del torio en la litosfera y la corteza terrestre es tres veces más alto que el de uranio. En la parte superior de la corteza

terrestre — la capa de granito y en su capa sedimentaria se contiene medianamente y respectivamente 1,8 $\cdot 10^{-3}$% и 1,3$\cdot 10^{-3}$% de masa total. El torio natural consiste prácticamente de un isótopo de vida media largo: el ^{232}Th con un período de semi desintegración de $T_{1/2}$ = 1,39.10^{10} años. El contenido del isotopo ^{228}Th, que se encuentra en equilibrio con éste, es muy pequeño: 1,37.10^{-8}%.

El torio es una fuente ideal de energía de alta densidad por unidad de volumen. Durante su uso mejora la calidad del combustible nuclear en comparación con la utilización de uranio y disminuye el peligro potencial de la contaminación del aire, el agua y el suelo. De esta manera, con el uso del torio la formación de desechos es mucho menor y más fácil su control. Además, se puede pasar del uranio al torio en una central nuclear con Reactores VVER[30] con tan solo la modernización de la zona activa del reactor

Además pequeños reactores de torio son útiles para el trabajo de turbinas a vapor, se puede usar el vapor también para procesos tecnológicos, tales como la desalinización y limpieza del agua o para la síntesis de hidrógeno. El torio junto con el uranio ya se usa en los reactores energéticos de Alemania, los Estados Unidos, Brasil y la India.

Las principales ventajas del torio ante el uranio son las siguientes:

- Su ventaja económica está relacionada con el alto coeficiente de reproducción. Los reactores en base a torio pueden trabajar sin recarga por un período más prolongado.
- Un nivel elevado de seguridad. Los reactores en base a torio excluyen casi por completo los accidentes severos.
- Prácticamente una ausencia total de la formación de elementos transuránicos peligrosos para el medioambiente.
- El torio se somete a la fisión nuclear bajo la influencia de los neutrones rápidos y puede usarse en calidad de material reproductor para la obtención del uranio.
- El ciclo de combustible del torio, a diferencia del de uranio no lleva a la generación de plutonio y también se distingue por la baja cantidad de desechos radioactivos.

[30] VVER- Vodo Vodianoi Energeticheckii Reaktor (reactor ruso), traducible por Reactor de Energía Agua-Agua.

Según las estimaciones de especialistas de Rusia y los Estados Unidos los yacimientos de torio deben alcanzar para 600 años. La Tabla 2.4 presenta las reservas mundiales de torio descubiertas hasta hoy[31].

Tabla 2.4 *- Reservas mundiales de torio (aseguradas razonablemente y recursos recuperables inferiores a 80 dólares de los Estados Unidos por Kg de Torio).*

País	Toneladas	% del Total
Australia	452.000	18
Estados Unidos	400.000	16
Turquía	344.000	13
Venezuela	300.000	12
India	319.000	12
Brasil	302.000	12
Egipto	100.000	4
Federación de Rusia	75.000	3
Groenlandia	54.000	2
Canadá	44.000	2
República Sudafricana	18.000	1
Otros países	33.000	1
Reservas mundiales	1.200.000	

[31] Datos tomados de Uranium 2007: Resources, Production and Demand, Nuclear Energy Agency (June 2008), NEA #6345 (ISBN 9789264947662)

2.3. Tipos de centrales nucleares

Las centrales nucleares se pueden clasificar según distintos indicadores que abarcan desde el rango energético de los neutrones que se utilizan para la fisión, por su construcción, por el tipo de refrigerante que utilizan, el destino de la producción de calor y por la magnitud de la potencia del reactor.

Según el tipo de reactor: están los reactores de neutrones térmicos, de neutrones rápidos, los reactores termonucleares y los reactores subcríticos que usan fuentes externas de neutrones. Según la construcción del reactor: de cuerpo o de canal. Por el tipo de refrigerante: agua, grafito, gas o metales líquidos. Para mejorar la eficiencia de absorción del neutrón por los núcleos de los átomos del combustible, en los reactores a neutrones térmicos se usan moderadores especiales (grafito, agua ligera o pesada).

Según la estructura de la zona activa se pueden clasificar también en:

- Heterogéneo: tienen el moderador interpuesto de forma discontinua en la masa activa de los elementos de combustible. Este tipo de reactor es el que se encuentran en estos momentos en operación en el mundo.

- Homogéneo: tienen el moderador mezclado con la masa activa de los elementos de combustible de modo íntimo y homogéneo. Se encuentra en fase de estudio y ensayo de algunos prototipos.

Por el tipo de energía generada las centrales nucleares se dividen en:

- Centrales nucleares destinadas a la generación de energía eléctrica.
- Centrales nucleares que producen energía eléctrica y energía térmica.
- Centrales nucleares de energía térmica destinadas para la calefacción.

Según su destino final también pueden clasificarse:

- Electricidad.
- Calefacción.
- Investigación.
- Transporte (submarinos y barcos).
- Multifuncionales (por ejemplo: generación de energía eléctrica y desalinización de agua de mar).

A continuación, se revisan en general las diferentes tecnologías de reactores disponibles comercialmente, las cuales se diferencian esencialmente por el grado de enriquecimiento del uranio que utilizan y, por ende, del tipo de moderador con que cuentan.

Los más usuales son los LWR (Light Water Reactor: Reactores con Agua Liviana) y dentro de ellos se distinguen los de tipo PWR y BWR. Sus principales características son:

- **PWR** (Pressurised Water Reactor: Reactor con Agua Presurizada). Tanto el refrigerante como el moderador son agua ligera presurizada. El refrigerante transfiere su calor a un fluido de un circuito secundario que acciona las turbinas. El combustible utilizado es óxido de uranio (UO_2) enriquecido. Para recargar el combustible requiere detener la central cada 18 meses. La versión rusa de esta tecnología es el reactor **VVER**[32].

- **BWR** (Boiling Water Reactor: Reactor con Agua en Ebullición): Tanto el refrigerante como el moderador son agua ligera. No posee circuito secundario, el refrigerante acciona directamente a las turbinas. El combustible utilizado es también óxido de uranio (UO_2) enriquecido.

El segundo tipo más común de reactor es:

- **PHWR** (Pressurised Heavy Water Reactor: Reactor con Agua Pesada Presurizada); más conocido con el nombre de CANDU[33]. Tanto el refrigerante como el moderador son agua pesada (D_2O) presurizada. El refrigerante transfiere su calor al fluido de un circuito secundario que acciona a las turbinas. El combustible utilizado es óxido de uranio (UO_2) natural. Para recargar el combustible no se requiere parar la central, sino que puede realizarse durante la operación.

Existe un reducido número de otros tipos de reactores de potencia, funcionando mediante otras tecnologías. Algunos de estos se encuentran aún en proceso de desarrollo:

- **GCR** (Gas Cooled Reactor: Reactor Refrigerado a Gas). El refrigerante es anhídrido carbónico moderado con grafito. Los exponentes más destacados de esta tecnología lo constituyen el Magnox[34] y el AGR[35]. El combustible es uranio natural metálico y dióxido de uranio (UO_2) enriquecido.

[32] VVER – Vodo Vodianoi Energetichskii Reaktor, traducible por Reactor de Energía Agua-Agua.
[33] Canada Deuterium Uranium.
[34] El nombre MAGNOX proviene de la aleación constituida por magnesio, con pequeñas cantidades de aluminio y otros metales, usadas para revestir las vainas de combustible.
[35] AGR – Advanced Gas-cooled Reactor, Reactor refrigerado a gas Avanzado.

- **LWGR** (Light Water Graphite Reactor: Reactor Refrigerado con Agua ligera y Moderado con Grafito). También conocido por su sigla en ruso RBMK[36]. El combustible utilizado es óxido de uranio (UO_2) enriquecido. Otro modelo, e, GBWR, puede considerarse como un subgrupo. Se utiliza para la producción de calor y potencia. El combustible utilizado es también óxido de uranio (UO_2) enriquecido.

- **FBR** (Fast Breeder Reactor; también conocido como Fast Neutron Reactor, Reactor de Neutrones Rápidos). Refrigerado con sodio líquido, sus componentes son básicamente los mismos que los de un reactor tradicional, salvo por la ausencia de moderador y la presencia de una zona llamada blanket (manta) que rodea al núcleo, ubicada entre el núcleo y el reflector. En ella se disponen tubos conteniendo uranio natural o uranio empobrecido proveniente de plantas de reprocesamiento. El propósito es que el uranio 238 absorba los neutrones rápidos que se fugan del núcleo, obteniendo así plutonio 239 (^{239}Pu) fisible. El combustible utilizado es óxido de plutonio (PuO_2) y dióxido de uranio (UO_2).

La Tabla 2.2.1[37] muestra la distribución de los diversos tipos de reactores, así como los principales países que los poseen.

Tabla 2.2.1 *- Reactores nucleares en operación en el mundo a finales del 2007*

Tipo de Reactor	Principales Países	Cantidad	GW_e	Combustible	Refrigerante	Moderador
Reactor de Agua a presión (PWR/VVER)	EE.UU, Francia, Japón, Rusia, Brasil	265; 66 son VVER	251,6	UO_2 enriquecido	agua	agua
Reactor de Agua en ebullición (BWR)	EE.UU, Japón, Suecia, México	94	86,4	UO_2 enriquecido	agua	agua
Reactor Enfriado a Gas (Magnox & AGR)	Gran Bretaña	18	10,8	U natural (metal), UO_2 enriquecido	CO_2	grafito
Reactor de Agua	Canadá,	44	24,3	UO_2 natural	agua pesada	agua

[36] RBMK – Reaktor Bolshoy Moshtchnosti Kanalniy, traducible por Reactor de Potencio de tipo canal.
[37] Nuclear Engineering International Handbook 2008.

Tipo de Reactor	Principales Países	Cantidad	GW_e	Combustible	Refrigerante	Moderador
Pesada Presurizada "CANDU" (PHWR)	India, Argentina					pesada
Reactor de Agua y Grafito (LWGR/RBMK/)	Rusia	12	12,3	UO_2 enriquecido	agua	grafito

Tipo de Reactor	Principales Países	Cantidad	GW_e	Combustible	Refrigerante	Moderador
Reactor de Neutrones Rápidos (FBR)	Francia, Rusia, Japón	4	1,0	PuO_2 y UO_2	sodio líquido	ninguno
Otros	**Rusia**	**4**	**0,05**	UO_2 enriquecido	Agua	grafito
	TOTAL	**441**	**386,5**			

De los 33 reactores nucleares actualmente en construcción, 24 son del tipo PWR, 2 del tipo BWR, 4 del tipo PHWR, 2 del tipo FBR y 1 del tipo LWGR.

Los reactores más difundidos en el mundo son aquellos que usan como refrigerante agua a presión, denominados PWR. A esta clase pertenecen también los reactores nucleares de procedencia rusa, los de agua-agua, también denominados VVER. En varios países (Estados Unidos, Japón, Suecia y otros) están en operación reactores nucleares de cuerpo refrigerados con agua en ebullición, denominados también BWR. En Gran Bretaña están en operación reactores nucleares que utilizan gas como refrigerante.

En Canadá son construidos reactores de canal con agua pesada (CANDU) que también se usan en otros países. En Rusia y Lituania también se explotan reactores de canal con moderador de grafito de tipo RBMK.

La primera central nuclear en el mundo con fines pacíficos, fue diseñada y construida por la Unión Soviética y fue puesta en operación el 27 de junio de 1954 en la ciudad Obninsk,

situada en la región de Kaluga y corresponde a una central de 5 MW de potencia. La segunda central nuclear para uso industrial, con una potencia de 46 MW, fue puesta en operación en el año 1956 en Calder-Hall (Gran Bretaña). La tercera central nuclear, con una potencia de 60 MW de potencia, fue puesta en servicio en Shippingport (EE.UU) en el año 1957.

Los líderes mundiales en la generación núcleo-eléctrica son Estados Unidos (790 mil millones de Kw-h/año), Francia (430 mil millones KWh/año), Japón (275 mil millones KWh/año), Alemania (160 mil millones KWh/año) y Rusia (155 mil millones KWh/año).

La mayor central nuclear de Europa es la de Zaporozhnie, en Ucrania, donde operan 6 reactores nucleares VVER-1000 con una potencia total de 6 GW. Y la mayor central nuclear en el mundo, es Kashiwazaki-Kariwa, con una potencia total de 8,2 GW. Esta central se encuentra en la ciudad japonesa Kashiwazaki y tiene en operación 7 reactores nucleares de agua en ebullición (BWR), incluyendo dos reactores nucleares avanzados (ABWR).

Los diferentes tipos de reactores y el estado actual de las unidades que se encuentran en operación y conectadas al sistema eléctrico o están en proceso de cierre definitivo por término del período de vida de operación, se presentan en la Tabla 2.3.2.

Tabla 2.3.2 - *Información sobre el estado de las unidades de energía por países*[38].

Países	En funcionamiento		En construcción		Cierre definitivo	
	Cantidad de unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW	Cantidad de unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW	Cantidad unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW
Argentina	2	935	0	0	0	0
Armenia	1	376	0	0	1	376
Bélgica	7	5.712	0	0	0	0
Bulgaria	4	2.722	0	0	0	0
Brasil	2	1.901	0	0	0	0

.[38] Nuclear Power Reactors in the World, 2008 Edition, IAEA, Vienna, 2008.

Países	En funcionamiento		En construcción		Cierre definitivo	
	Cantidad de unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW	Cantidad de unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW	Cantidad unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW
Gran Bretaña	19	11.207	0	0	0	0
Hungría	4	1.755	0	0	0	0
Alemania	17	20.173	0	0	1	296
India	14	2.550	8	3602	0	0
Indonesia	1	0	0	0	0	0
Irán	0	0	1	915	0	0
España	8	7.324	0	0	0	0
Kazajstán	0	0	0	0	1	52
Canadá	20	12.571	0	0	0	0
China	9	6.587	0	0	0	0
Lituania	1	1.185	0	0	0	0
México	2	1.360	0	0	0	0
Países Bajos	1	450	0	0	0	0
Pakistán	2	425	0	0	0	0
Rusia	31	21.743	5	4525	2	482
Rumania	1	650	1	650	0	0
Corea Norte	0	0	1	1040	0	0

Países	En funcionamiento		En construcción		Cierre definitivo	
	Cantidad de unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW	Cantidad de unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW	Cantidad unidades energéticas	Potencia eléctrica total, MW
Eslovaquia	5	2.408	2	776	0	0
Eslovenia	1	676	0	0	0	0
EE.UU.	104	99.840	0	0	6	1162
Taiwán	5	0	2	0	0	0
Ucrania	14	12.157	2	1900	1	925
Finlandia	4	2.641	1	0	0	0
Francia	59	62.563	1	1450	0	0
Rep. Checa	6	3.472	0	0	0	0
Suiza	5	3.202	0	0	1	9
Suecia	10	8.837	0	0	0	0
África Sur	2	1.821	0	0	0	0
Corea Sur	20	17.460	0	0	0	0
Japón	55	46.770	0	0	1	148

2.4. Proyectos en desarrollo[39]

[39] A. V. Zrodnikov. La energética nuclear del siglo XXI. La sexta conferencia Internacional científica-técnica de consorcio "Rosatom" - MNTK-2008, Moscú, 21-23.05.2008. AC10. Petrov E. L., Suglobov D. N., Jakovlev R. M. Reactor-2020. La Estrategia XXI atómica, № 24, agosto de 2006

Luego de la descripción de los diferentes tipos de reactores realizada en el apartado anterior, es necesario distinguir cuatro generaciones de reactores nucleares. La **Generación I** comprende a los primeros diseños y construcciones de reactores de potencia. Puede establecerse, con el fin de determinar un inicio, que los primeros reactores de esta clase comenzaron a operar desde 1954. A partir de la experiencia adquirida y utilizando los nuevos recursos tecnológicos desarrollados en distintas áreas, a comienzos de la década de 1960 se introdujeron nuevos diseños y se construyeron reactores mejorados, dando inició así a la **Generación II**. Como fecha de inicio de esta segunda etapa puede establecerse el año 1970.

El proceso de investigación y desarrollo sobre centrales nucleares se frenó hacia fines de la década de los 80, cuando se redujo el crecimiento de la energía nucleoeléctrica mundial, demorando la aparición de la **Generación III**. Esta considera reactores cuyas características de operación, seguridad y gestión de combustible en el núcleo mejoran sustancialmente respecto de la Generación II, incorporando avances tecnológicos y economías de escala. Como fecha de inicio de esta tercera podría establecerse el año 1995. La próxima fase, llamada **Generación III+,** presenta algunas mejoras respecto a la Generación III especialmente respecto a la seguridad.

Las Generaciones I y II corresponden a reactores actualmente en funcionamiento, la III y III+ a los actualmente en construcción o en funcionamiento reciente. Si bien se seguirán comercializando reactores de generación II, a corto plazo la mayoría de las nuevas centrales nucleares tendrán reactores de diseños evolutivos, a partir de sistemas ya probados de Generación III y III+.

A más largo plazo la atención estará centrada en los diseños innovadores, la Generación IV. Estos diseños se orientan a incrementar las ventajas en las áreas de seguridad radiológica y seguridad física, de no proliferación, de gestión de residuos y de utilización y economía del recurso, así como a ofrecer una variedad de productos y flexibilidad de diseño, de localización y de opciones de combustible. Actualmente se encuentran todavía en fase de diseño, previendo su comercialización dentro de aproximadamente 20 ó 30 años.

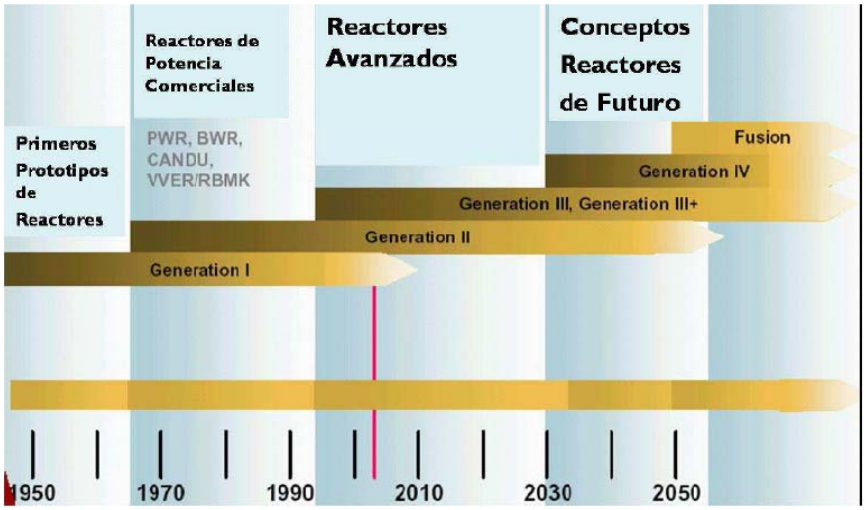


Figura 2.7 - *Evolución histórica de la energía nuclear: pasado, presente y futuro (Fuente: Foro Nuclear Español).*

A continuación se presentan con mayor detalle los tipos de reactores de generación III y III+ que se han desarrollado o se encuentran en vías de desarrollo.

Generación III

- **ABWR** (Advanced Boiling Water Reactor: BWR Avanzado) el primer reactor de Generación III. Desarrollado por General Electric (GE), Hitachi Ltd. y Toshiba Corp., con una potencia del orden de los 1.300 MW.
- **AP600** (Advanced Passive 600: reactor Pasivo Avanzado) reactor tipo PWR diseñado por Westinghouse con una potencia de 600 MW.

- **System 80+,** reactor tipo PWR desarrollado por ABB. Constituye la base de los reactores APR1400 (Advanced Power Reactor) desarrollados por la República de Corea en cooperación con Estados Unidos.

Generación III+

- **EPR** (European Pressurized Reactor, Reactor Presurizado Europeo en su versión europea o Evolutionary Pressurized Water Reactor, Reactor Presurizado Evolucionario en su versión americana). Se trata de un reactor tipo PWR de desarrollo franco-alemán, con una potencia de unos 1.600 MW. La primera unidad EPR está siendo construida en Olkiluoto, Finlandia y se ha resuelto la construcción de una segunda unidad en Francia.

- **AP1000** (Advanced Passive 1000), reactor tipo PWR desarrollado por Westinghouse, con una potencia de unos 1.000 MW.

- **ESBWR** (Economic Simplified BWR o European Simplified BWR) desarrollado por General Electric e Hitachi Nuclear Energy, con potencia de unos 1.500 MW. Aún no hay ninguno instalado.

- **ACR Series** (Advanced Candu Reactor) con potencias de 700 MW y 1.200 MW.

- **AHWR** (Advanced Heavy Water Reactor), reactor desarrollado por India con una potencia de 300 MW. El combustible posee torio 233 (^{233}Th) y plutonio (Pu). Su vida útil es de unos 100 años. Se desconoce el estado de avance del diseño.

Por otra parte, existe otra clasificación de reactores en cuanto a su potencia: se denominan Reactores Pequeños a aquellos cuya potencia eléctrica es inferior a los 300 MW y Reactores Medianos a aquellos cuya potencia eléctrica está entre 300 y 700 MW. Ambos grupos constituyen la familia de los SMRs: Small and Medium Reactors (Reactores Pequeños y Medianos). A los de potencias mayores se los denomina simplemente Reactores.

En el mundo se encuentran en operación alrededor de 140 reactores pequeños y medianos, con una potencia total instalada de unos 61 GW, lo que corresponde a un 16% de la potencia mundial instalada de generación nucleoeléctrica. En general, se trata de reactores de Generaciones I y II todavía en operación, además de algunos prototipos. En construcción se registra aproximadamente una decena.

Existe un conjunto importante de reactores pequeños en proceso de desarrollo, de Generaciones III, III+ y IV. Del análisis de la documentación se desprende que estos deberían estar comercialmente disponibles a partir del 2018. Aquellos cuyo estado de avance parece más promisorio son los siguientes:

- **IRIS** (International Reactor Innovative and Secure). Se lo considera el diseño puente entre la Generación III+ y la IV. Westinghouse dirige el consorcio que lo desarrolla como el proyecto líder de los rectores de Generación III+. Se trata de un reactor PWR de 335 MW (podría ser también menos, 100 MW) con los generadores de vapor y el circuito primario de refrigeración contenidos en el recipiente de presión. El combustible es en principio similar a los de cualquier LWR, pero con un enriquecimiento superior, del 5-9 %. Esto permitiría que los intervalos de recarga de combustible sean mayores, de 3 a 3,5 años. Se

encuentra en etapa de licenciamiento en Estados Unidos y se espera que ésta culmine hacia 2015. Asimismo, se estima que el primer reactor comercial estaría disponible hacia 2018 ó 2019.

- **SMART** (System-Integrated Modular Advanced Reactor), desarrollado por la República de Corea. Se trata de un reactor de tipo PWR de 90 MW. Funcionaría con U_2O levemente enriquecido. Un primer prototipo estaría funcionando en 2009, pero no existe fecha estimativa de puesta en funcionamiento de un primer reactor comercial de este tipo.

- **CAREM** (Central Argentina de Elementos Modulares). Se trata de un modelo PWR, de 27 ó 300 MW, de diseño argentino, cuyo proceso de desarrollo estuvo detenido durante muchos años. Funcionaría con U_2O ligeramente enriquecido. Recientemente se ha resuelto retomar los trabajos, previéndose la construcción de un prototipo de 27 MW. No existe aún una fecha estimada para la puesta en marcha de un reactor comercial.

- **PBMR** (Pebble Bed Modular Reactor). Es un diseño novedoso de tipo HTGR (High Temperature Gas Reactor, es decir, reactor a gas de alta temperatura), utilizando helio como sustancia refrigerante. Se trata de un proyecto Sudafricano en colaboración con otros países. El combustible posee también un diseño novedoso. La potencia sería de 165 MW. El hecho de funcionar a alta temperatura presenta la ventaja de poder producir hidrógeno, que podría comenzar a reemplazar a los derivados del petróleo en el transporte. Hasta ahora no se ha podido terminar de comprobar experimentalmente el funcionamiento del diseño, ni se conoce una fecha estimada de puesta en marcha de un reactor comercial.

La Tabla 2.3.3 presenta un listado completo de los proyectos en desarrollo de reactores pequeños y medianos (SMRs) con diseño innovador.[40, 41, 42]

Tabla 2.3.3 - *Reactores pequeños innovadores en desarrollo.*

[40] Progress in Design and Technology Development for Innovative Small and Medium Sized Reactors. IAEA. 2 July 2007.

[41] Innovative Small and Medium Sized Reactors: Design Features, Safety Approaches and R&D Trends. Final report of a technical meeting held in Vienna, 7-11 June 2004. IAEA-TECDOC-1451, Vienna, 2005.

[42] Status of Innovative Small and Medium Sized Reactor Designs 2005: Reactors with Conventional Refuelling Schemes. IAEA-TECDOC-1485, Vienna, 2006.

NOMBRE	PAIS	TIPO	POTENCIA [MW]	Opción básica combustible
SMART System-integrated Modular Advanced Reactor	República de Corea	PWR	90	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
IRIS International Reactor Innovative and Secure	EE.UU.	PWR	335	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
CAREM Central Argentina de Elementos Modulares	Argentina	PWR	27/300	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
MARS Multipurpose Advanced Reactor, Inherently Safe	Italia	PWR	150	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
SCOR Simple Compact Reactor	Francia	PWR	630	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
IMR Integrated Modular water Reactor	Japón	LWGR	350	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
VVER-300 Water cooled modular power reactor	Rusia	PWR	295	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
VK-300 Water cooled and moderated natural circulation BWR	Rusia	BWR	250	U_2O enriquecido al 4,4%
CCR Compact Containment	Japón	BWR	300	Ciclo abierto, U_2O levemente

NOMBRE	PAIS	TIPO	POTENCIA [MW]	Opción básica combustible
boiling water Reactor				enriquecido
RMWR Reduced Moderation Water Reactor	Japón	BWR	330	Ciclo cerrado, U, MOX
AHWR Advanced Heavy Water Reactor	India	LWHWR	300	Ciclo abierto con Pu-Th
RUTA-70 Reactor facility for district heating with atmospheric pressure in the primary circuit	Rusia	LWR	No genera electricidad, solo calor	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido en forma de micro partículas en una matriz metálica
KAMADO Concept of a safety reactor	Japón	LWR Flujo directo y tubos de presión	300	Ciclo abierto, U_2O levemente enriquecido
PBMR Pebble Bed Modular Reactor	Sudáfrica	HTGR	165	Ciclo abierto, U_2O recarga en operación
GT-MHR Gas Turbine Modular Helium Reactor	EE.UU.-Rusia	HTGR	287	Ciclo abierto, U_2O
HTR-PM High Temperature gas cooled Reactor-Pebble Bed Module	China	HTGR	160	Ciclo abierto, U_2O recarga en operación
FAPIG-HTGR	Japón	HTGR	100	Ciclo abierto, U_2O

NOMBRE	PAIS	TIPO	POTENCIA [MW]	Opción básica combustible
FAPIG-High Temperature Gas cooled Reactor				recarga en operación
ACACIA Advanced atomic cogeneration for industrial applications	Holanda	HTGR	18,1 – 23,2	Ciclo abierto, U2O recarga todo el núcleo cada vez
KALIMER Korean Advanced Liquid Metal Reactor	República de Corea	Reactor Rápido refrigerado con sodio	150	Ciclo cerrado, U
BMN-170 Modular plant with sodium cooled fast reactor	Rusia	Reactor Rápido refrigerado con sodio	170	Ciclo cerrado, U, Pu
MDP Modular Double Pool liquid metal cooled fast breeder reactor	Japón	Reactor Rápido refrigerado con sodio	325	Ciclo cerrado, U, Pu
RBEC-M Lead-bismuth cooled reactor with high level of natural circulation	Rusia	Reactor Rápido refrigerado con plomo-bismuto	340	Ciclo cerrado, U, Pu
PEACER-300/550 Liquid metal cooled fast reactor for waste transmutation and power production	República de Corea	Reactor Rápido refrigerado con plomo-bismuto	300 (550)	Ciclo cerrado, U

NOMBRE	PAIS	TIPO	POTENCIA [MW]	Opción básica combustible
Medium Scale Lead-bismuth Cooled Reactor Modular	Japón	Reactor Rápido refrigerado con Pb-Bi[43]	710	-
AHTR Advanced High Temperature Reactor	EE.UU.	No convencional	300 – 1.200	Ciclo abierto

2.5. La industria nuclear rusa[44]

Rusia, fue el primer país en el mundo que inició el uso pacífico de la energía atómica, en el año 1954. Para la generación de electricidad construyó centrales nucleares con diferentes tipos de reactores en su propio territorio así como en el extranjero. El espectro de la tecnología nuclear rusa abarca distintas direcciones, incluyendo los reactores de canal y de cuerpo, los reactores a neutrones térmicos y rápidos, los reactores con agua ligera en ebullición como refrigerante y los de sodio a presión, también los reactores con metal liquido (fundido) como refrigerante.

A continuación se detallan los principales reactores usados actualmente en Rusia, así como los proyectos en curso.

2.5.1. Reactores de gran potencia

2.5.1.1. Reactor VVER – 1000

Hasta el momento se han construido 66 reactores tipo VVER con tecnología rusa, 59 de ellos operan en países de Europa y Asia. La mayoría de las centrales nucleares que actualmente operan en el mundo, más de un 60%, son de este tipo, que en el caso de ser rusos, su

[43] Pb-Bi: Plomo-Bismuto.

[44] Todo este desarrollo es elaboración propia del Consorcio Ruso "ROSATOM", formulado en base a su experiencia en el diseño, construcción y operación de reactores nucleares (ver: http://www.rosatom.ru/).

denominación es VVER y si es occidental su denominación es PWR. Entre estas dos tecnologías las diferencias no son significativas, ambos son reactores con agua a presión.

Sin embargo, la experiencia de operación ha mostrado algunas ventajas de la central nuclear con los reactores VVER en comparación con las unidades de energía PWR y también con respecto a otros tipos de centrales nucleares. Por ejemplo, el análisis tecnológico ha demostrado un rendimiento económico mayor en la operación de la central nuclear con reactor VVER en comparación por ejemplo, con centrales nucleares con reactores CANDU y también con respecto a los reactores PWR. El motivo principal, es la mayor eficiencia de los generadores de vapor de la central nuclear con reactores VVER. Esta circunstancia esencialmente está condicionada por los distintos materiales de construcción y el régimen químico del agua del primer circuito del VVER. En particular, la aparición de fisuras por corrosión en los tubos de los generadores de vapor y una serie de otros componentes en medio del refrigerante del primer circuito, es uno de los procesos básicos de degradación de la central nuclear con reactores tipo PWR. Por el contrario, en la central nuclear con VVER la experiencia acumulada ha demostrado que el primer circuito prácticamente no presenta fisuras por corrosión.

En Rusia y otros países se construyen versiones avanzadas de reactores de la serie VVER-1000 (V-320) que operan con éxito en varios países. Dos nuevas unidades VVER-1000 (V-392) se construyeron con éxito en China durante el año 2006. Y nuevas unidades VVER-1000 se construyen actualmente en China, India, Irán y Bulgaria.

2.5.1.2. Reactor VVER – 1200

Actualmente ya existe en el mercado la última versión de este modelo: el reactor **VVER – 1200**, cuya principal diferencia radica en que su coeficiente de rendimiento fue aumentado hasta en un 36%, lo cual se explica por los siguientes motivos:

- Aumento de la potencia térmica del reactor hasta 3.200 MW.
- Aumento de la potencia eléctrica hasta 1.160 MW.
- Aumento del período de vida de servicio hasta 60 años.
- Aumento del coeficiente de la utilización de la potencia instalada (factor de planta) hasta 90%.

En Rusia hay dos centrales de este tipo en construcción en la actualidad.

Respecto a la seguridad, en el modelo VVER-1200 los sistemas pasivos pueden cumplir de modo autónomo todas las funciones críticas sin la participación de los sistemas activos y del operador en situación de corte de suministro de energía de producción interna, externa y de emergencia. Los sistemas activos, a su vez, garantizan el suministro constante de energía y el control por parte del operador. La envoltura de protección doble con el juego circular es ventilada por los sistemas activos y pasivos autónomos. El sistema pasivo de extracción de calor de los generadores de vapor garantiza de manera continua la extracción del calor generado por el reactor, sin intercambiadores especiales. En caso de pérdida del refrigerante, los sistemas pasivos de suministro complementario aseguran la recarga del agua borada (que contiene ácido bórico) desde el recipiente, por gravedad.

Tabla 2.4.1 *- Comparación del modelo VVER-1000 con el VVER-1200.*

Características	VVER-1000	VVER-1200	Diferencia %
Potencia eléctrica, MW	1.020	1.170	+ 14,7
Generación anual, Miles de MWh	7,5	9,0	+ 20,0
Vida útil (proyectada), años	30	50	+ 66,7
Reducción del tiempo promedio anual de detención planificada, días	40	25	- 37,5
Coeficiente de disponibilidad, unidad relativa	0,80	0,92	+ 15,0
Área específica, m^2/KW	13,1	11,9	- 9,1
Volúmenes específicos de obras de construcción, m^3/MW	620	512	- 17,4
Volumen del combustible nuclear gastado (CNG) en forma de caseta (fuel assembly), t /Miles de MWh	5,5	3,5	- 36,4

Se prevé para el VVER–1200 un sistema de seguridad para el evento de fusión completa de la zona activa, para lo cual debajo del cuerpo del reactor se ubican instalaciones que permiten la retención del material fundido. La probabilidad de fusión completa de la zona activa es de $1{,}0.10^{-7}$/reactor-año.

En general, el mejor rendimiento económico del VVER - 1200 se logra gracias a una mayor eficiencia en el costo de seguridad activa, a la reducción del consumo de concreto y metales por un mejor diseño de la central, a la disminución de los gastos de operación de la central y al aumento del período de vida útil.

2.5.1.3. Reactores MKER[45]

Es un reactor de potencia tipo canal refrigerado con agua ligera y moderado con grafito, asegura la generación de electricidad, calor y producción de radioisótopos. Existen 3 modelos, el MKER-800, MKER-1000 y el MKER-1500, cuyas características técnicas fundamentales se presentan en la Tabla 2.4.2.

Tabla 2.4.2 *- Comparación de los tres modelos MKER.*

Característica	MKER-800	MKER-1000	MKER-1500
Potencia del reactor, MW:			
Térmica	2.450	3.000	4.260
Eléctrica	860	1.068	1.500
Calor para la calefacción, MWt (Gcal/h)	105 (90)	130 (112)	230 (200)
Coeficiente de rendimiento:			
Bruto	35,1	35,6	35,2 (36,8)
Neto	33,5	34,0	33,3 (34,7)
Combustible	UO_2	UO_2	UO_2, MOX
Enriquecimiento del combustible, %	2,4	2-2,4	2-3,2
Profundidad media del quemado, MW·día/kg	26-28	28	30-45
Refrigerante	Agua	Agua	Agua

[45] S. E. Gmyrko, et al., Los reactores del tipo de canal como la parte integrante de la energética nuclear del país, Energía Atómica, 2007, t. 103, ed. 1, con. 29-36.

Característica	MKER-800	MKER-1000	MKER-1500
Moderador y reflector	Grafito	Grafito	Grafito
Temperatura del agua de alimentación, °C	187	233	229
Temperatura del refrigerante a la entrada, °C	275	265,6	274
Gasto del refrigerante a través del reactor, t/h	23.300	25.309	30.804
Producción de vapor t/h	4.600	5.891	8.600 (8.270)
Presión del vapor en los separadores, MPa	7	6,5	7,5
Contenido medio de vapor a la salida, %	19,7	23,3	27,9 (26,9)
Altura de la zona activa, m	6	6	7
Diámetro de la zona activa, m	11	12,1	14
Número de los canales de combustible	1.580	1.824	1.824
Número de canales del Sistema de Mando y Protección	221	233	219
Temperatura máxima del grafito, °C	510	590	640
Temperatura máxima del canal de combustible, °C	301	300	317
Temperatura máxima del combustible, °C	945	1.050	1300 (1263)

En los reactores MKER-800 y MKER-1000 se realiza la circulación natural del refrigerante intensificado con bombas de agua, y en el reactor MKER-1500 se usa la circulación forzada del refrigerante. La envoltura interior se calcula para resistir el excedente de presión, de 0,2 MPa en caso de emergencia, y la exterior, hecha de hormigón armado, para soportar impactos exteriores extremos. La recarga de combustible y la producción de radioisótopos puede realizarse con el reactor en funcionamiento, sin disminución de potencia. La probabilidad de daño de la zona activa del MKER-1500 es ~10^{-6} 1/reactor-año, mientras que la probabilidad de escape de los radionúclidos al medioambiente es de ~10^{-7} 1/reactor-año.

2.5.2. Reactores de mediana potencia

2.5.2.1. Reactor VVER-440

Anteriormente se realizó el análisis de los reactores tipo VVER de una potencia igual o mayor a los 1.000 MW, el diseño de ese reactor resultó del desarrollo posterior y perfeccionado de su reactor base, el VVER-440, que viene ser el diseño original de los reactores agua a presión ampliamente difundido en el mundo entero.

En la actualidad están en operación en Rusia, Finlandia, Hungría, República Checa, Eslovaquia, Ucrania y Bulgaria. En total 66 bloques energéticos con un potencia total de 29.331 MW.

Las características técnicas fundamentales son:

Características	Valor
Potencia nominal, MW	440
Generación anual de electricidad, GWh	3,5
Eficiencia, %	33,9
Numero de lazos de refrigeración	6
Presión de trabajo, bar	123
Temperatura de entrada del refrigerante, °C	267
Temperatura de salida del refrigerante, °C	296
Tipo de combustible	UO_2
Enriquecimiento, %	3,6
Número de casetes combustibles	313
Cantidad de combustible enriquecido, t	37,3
Recarga anual, t	14,5
Duración nominal del ciclo de recarga, h	7.800

2.5.2.2. Reactor ASER-300[46]

Con la tecnología de reactores nucleares VVER se ha desarrollado también un reactor para bloques energéticos de mediana potencia que pueden ser utilizados en países cuyos sistemas eléctricos poseen una potencia instalada baja o media. Las principales características de diseño de este reactor nuclear son las siguientes:

1. Utiliza tecnologías asimiladas de los reactores nucleares con destino a la propulsión naval.
2. Utiliza los principios básicos de construcción y operación de los modelos VVER-440.
3. Incrementa los sistemas de seguridad en regímenes de operación normal y de emergencia.

La diferencia fundamental entre el ASER-300 y el VVER-440 radica en la posibilidad de sustituir durante los trabajos de mantención o reparación cualquier equipo o parte de la instalación del reactor. Por cuanto al ASER-300 utiliza los principios tecnológicos aplicados a los submarinos nucleares, que durante el lanzamiento de un misil, experimentan movimientos extremos equivalente a un terremoto cercano al grado 18, es que le ha dado a este reactor una especial característica antisísmica, por lo cual es recomendado por especialistas rusos para aquellos países ubicados en la línea roja sísmica del planeta. Las características técnicas más relevantes de este reactor son:

Característica	Valor
Potencia térmica, MW	945
Potencia eléctrica nominal, MW	300
Cantidad de lazos de enfriamiento	2
Cantidad de generadores de vapor	2 x 200 MW
Gasto de refrigerante a través de la zona activa, t/h	15.975
Presión del refrigerante a la salida de la zona activa, MPa	15,7

[46] Kostin V. I., et al., VVER-300 reactor system and power-generating units for regional nuclear power production. Atomic Energy 2007; 102(1): 36-41.

Característica	Valor
Temperatura media del refrigerante a la entrada de la zona activa, °C	293
Temperatura media del refrigerante a la salida de la zona activa, °C	329
Peso de la vasija, t	200
Combustible utilizado	UO_2
Cantidad de casetes de combustible en la zona activa	320
Peso de la primera carga de combustible, t	27,5
Gasto anual de combustible, t/año	8,8
Precio estimado de generación de 1 MW, USD/MWh	22-25

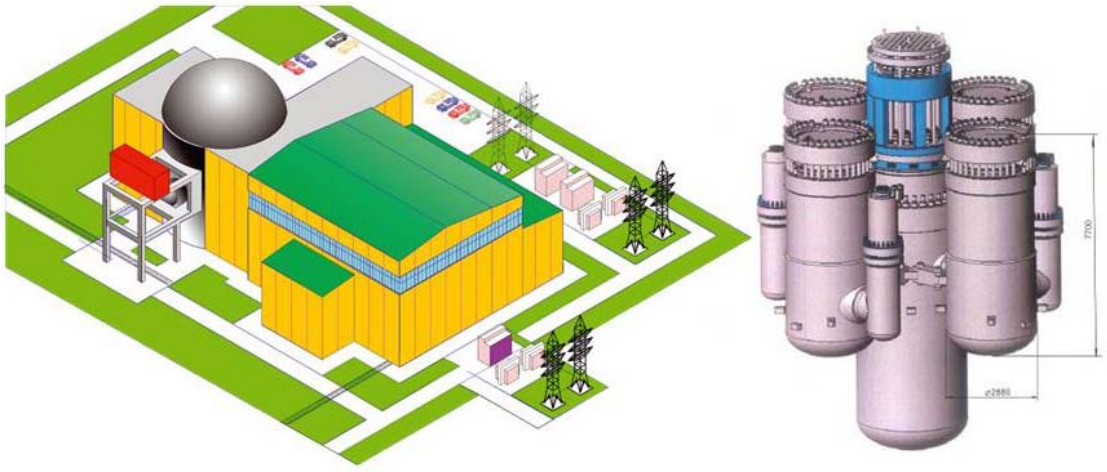


***Figura 2.8 - Izquierda** maqueta de la central con reactor ASER-300 y derecha su reactor.*

2.4.5.3. Reactor VK-300 (calefacción)[47]

[47] B. A. Gabaraev, et. al, La instalación de calefacción nuclear - la perspectiva y la solución. Energía Atómica, 2007, t. 103, ed.1, con. 36-40.

El modelo VK-300 es un modelo de agua en ebullición, de innovación simplificada, orientado a la calefacción. La instalación de reactor VK-300 posee un circuito de enfriamiento con una potencia eléctrica de 250 MW, para la producción de 400 Gkal/h de calor para calefacción, utilizando la circulación natural del refrigerante. En el desarrollo del reactor VK-300 se utilizó la experiencia acumulada de muchos años de operación del reactor VK-50, con circulación natural del refrigerante. En el proyecto VK-300 fueron incorporadas aplicaciones sencillas de sistemas pasivos de seguridad. La presencia de dos sistemas que actúan sobre la reactividad (barras y líquido) aseguran el control pasivo de la reacción en cadena de la fisión y la detención automática del reactor en caso de emergencia.

El estudio de factibilidad técnico-económico para la construcción de 4 reactores de este tipo en Rusia está concluido. Su construcción está prevista en la región de Arjánguelsk, con una potencia total de 1.000 MW y una producción de calor de 1600 GCal/h.

2.5.3. Reactores de baja potencia[48]

2.5.3.1. Modelos SVVER-75/100, VVER-150 y KLT-40C

Son una alternativa especialmente interesante para aquellos lugares de difícil acceso, en donde obtener energía por medios tradicionales resulta complicado. La baja inversión y la rápida puesta en marcha de este tipo de centrales son factores atractivos para empresas que operan en aquellas zonas en que no se dispone de suficientes alternativas de suministro energético.

El reactor SWBER-75/100 es enfriado por una aleación de plomo y bismuto, con una potencia de 101,5 MW, y la recarga de combustible se realiza con intervalos de 6 a 9 años.

El reactor WBER-150 es una versión simplificada del modelo VVER-300 y funciona con un intervalo de 8 años de recarga de combustible.

Por su parte, el modelo KLT-40C[49, 50], conocido como “la central flotante” (Figura 2.4.4), es un reactor diseñado y construido para ser transportado sobre una embarcación, a fin de que

---

[48] Velihov E. P., Kuznetsov V. P., Chernilin Ju. F. Perspectivas del desarrollo de las Centrales Nucleares de potencia media (Energética atómica Regional), MNTK-2008, Moscú, 21-23.05.2008.

[49] Panov et al 2006, Floating Power Sources Based on Nuclear reactor Plants. EktronJS,EktronA

[50] Panov YuK, Sandler NG. Nuclear vessel Ural: a floating electric power plant, (FBISUST-97-016). Atomnaya Energiya 1997: 149-151.

pueda trasladarse por vía fluvial o marítima, según el caso, a zonas apartadas. A esta ventaja se suma al hecho de que la disponibilidad del suministro eléctrico que entrega no está sujeta a periodos de construcción, sino simplemente al tiempo que demora su llegada al lugar de destino.

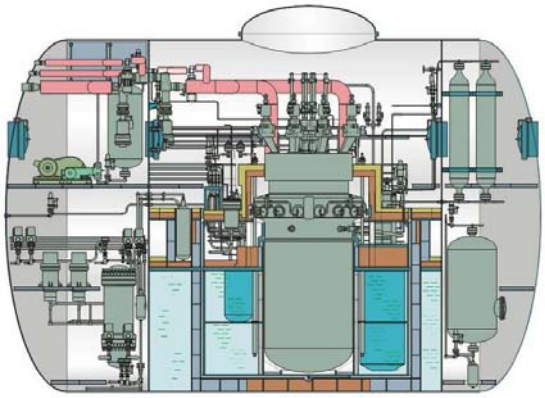


Figura 2.9 - *Diagrama del reactor de la Central flotante KLT-40C*

Tabla 2.4.3 *- Características básicas la Central Nuclear flotante KLT-40C.*

Potencia eléctrica nominal, MW	30-70
Potencia térmica nominal, GCal/h	50-147
Precio, MM Rublos[51]	9-10
Tiempo de construcción, años	3
Generación de energía eléctrica, millones KWh/año	455
Generación de calor, miles Kcal/año	900
Longitud, m	140
Ancho, m	30

[51] 1 Rublo = 0.03035 dólares de los Estados Unidos al cambio del 1 de Mayo del 2009.

Altura de la borda, m	10
Calado, m	5-6
Desplazamiento, t	21.000

Figura 2.10 *- Aspecto exterior de la Central Nuclear flotante KLT-40C.*

Conclusiones

Existe un amplio consenso internacional sobre los grandes desafíos que el presente y el futuro inmediato imponen a la industria energética. Aquellos años en que el suministro de electricidad estaba sujeto únicamente a las leyes del mercado, siendo su principal fuente de conflicto las fluctuaciones entre oferta y demanda, han terminado hace tiempo. Hoy nos enfrentamos al hecho cierto de que los recursos no renovables se encuentra sobre explotados y además, de que el uso y abuso de combustible de origen fósil, sumado a un modelo erróneo de gestión, están causando efectos inevitables en el delicado equilibrio medioambiental de nuestro planeta. El cambio climático, producto del calentamiento global de la atmósfera por el exceso de gases de efecto invernadero, es solo el más evidente de estos.

A la luz de estos hechos no cabe duda de que uno los grandes desafíos mundiales del siglo XXI será conciliar las necesidades energéticas necesarias para mantener el progreso social y económico, con los desafíos ambientales y sociopolíticos derivados de estos. Se estima que la demanda energia mundial crecerá 2,5 veces hacia el 2050.

Los antecedentes contenidos en este capítulo dan cuenta de que, durante los últimos años, se ha hecho evidente que la energía nuclear permite satisfacer una parte importante del aumento previsto en la demanda de electricidad y, al mismo tiempo, contribuye decididamente a mitigar la mayor parte de los efectos perjudiciales -ambientales, políticos y económicos- que ocasiona el uso de combustibles fósiles. A pesar de ello, todavía muchos creen que esta tecnología tiene más riesgos que ventajas. Así, la próxima tarea de la industria nuclear y de los gobiernos que tienen la intención de optar por ella es despejar todas las preocupaciones reales o aparentes: seguridad, eliminación de residuos, clausura de las centrales, proliferación y seguridad física, además de costos asociados, directa o indirectamente.

Hoy se observa un resurgimiento de la energía nuclear, especialmente en los países más industrializados y destacan tres iniciativas internacionales para el desarrollo de una tecnología nuclear segura, sostenible y resistente a la proliferación de armas, con ventajas económicas, fiabilidad y con una generación mínima de residuos: el GIF, que tiene su Secretaría Técnica en la Agencia de Energía Nuclear; la “Alianza Mundial para la Energía Nuclear” dirigida por los Estados Unidos, y el “Proyecto Internacional sobre Reactores Nucleares y Ciclos de Combustible Innovadores” coordinado por el OIEA. Estas iniciativas buscan garantizar un adecuado equilibrio entre el avance del desarrollo tecnológico, impulsado por las necesidades apremiantes de suministro, y las regulaciones necesarias para

asegurar también el bienestar de la población y la estabilidad económica y política de las naciones que integren la energía nuclear a su matriz. Desde el punto de vista técnico, los reactores de nueva generación destacan por sus prestaciones de alto nivel en este sentido, y serán la base del desarrollo de la energía nuclear de los próximos dos o tres decenios. La cooperación internacional en materia de diseño de reactores y ciclos del combustible promete avances aún más notables en el futuro.

Así pues, existen argumentos para que la opinión pública, que en el pasado tuvo razones justificadas para mantener reticencias y temores, pueda hoy comprender las ventajas de la energía nuclear. Por su parte, los gobiernos y autoridades responsables tienen a su disposición tecnología de vanguardia, capacidad y experiencia, desarrollada por diversas naciones, para incluir esta tecnología en su matriz energética con garantías de seguridad. Esto considera también la posibilidad de dar un salto significativo en su desarrollo económico, científico y social, lo que sin duda será una ventaja competitiva relevante en los complejos escenarios del mundo por venir.

Bibliografía

2.1.- E. O. Adamov, Los proyectos de innovación de los reactores nucleares ¿el capricho de los científicos o un imperativo estratégico? El sitio oficial del NIKIET N. A. Dollezhalja (nikiet.ru).

2.2.- J. S. Cherepnin. Un nuevo siglo - una nueva etapa en la energética atómica. El sitio oficial del NIKIET. (nikiet.ru).

2.3.- Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030. IAEA, Vienna, 2007.

2.4.- V. G. Asmolov. Los programas de prioridad del complejo energético nuclear de Rusia. La sexta conferencia Internacional científica-técnica de consorcio "ROSENERGOATOM" - MNTK-2008, Moscú, 21-23.05.2008.

2.5.- Velihov E. P., Kuznetsov V. P., Chernilin Ju. F. Perspectivas del desarrollo de las Centrales Nucleares de potencia media (la Energética atómica Regional). MNTK-2008, Moscú, 21-23.05.2008.

2.6.- A. V. Zrodnikov. La energética nuclear del siglo XXI. La sexta conferencia Internacional científica-técnica de consorcio "Rosenergoatom" - MNTK-2008, Moscú, 21-23.05.2008. AC10. Petrov E. L., Suglobov D. N., Jakovlev R. M. Reactor-2020. La Estrategia XXI atómica, № 24, agosto de 2006

2.7.- Nóvikov V. M., Ignatiev V. V., Fedulov V. I., Cherednikov V. N., Instalaciones energéticas nucleares de soluciones líquidas de sales: las perspectivas y el problema. Moscú: Energoatomizdat, 1990, 192 pág.

2.8.- Kuzjakin J. I., Jakovlev R. M. Instalaciones energéticas nucleares de transporte de soluciones líquidas de sales. La colección de los informes NTK "la energética de barco nuclear - la mirada en el siglo XXI" Octubre de 2001, Nizni Nóvgorod: OKBM.

2.9.- Yakovlev R. M., Kusyakin Yu. I., Suglobov D. N. and Rodionov Y. I., MSR of Average and Low Power with the Lengthened Campaign., Abstr., 10-th International Seminar on Advanced Nuclear Fuel Cycle for the XXI Century, 24-27 September, 2007, p. 94, Nizhny Novgorod, Russia.

2.10.- Yakovlev R. M., Kusyakin Yu I. and Suglobov D. N., Homogeneous Molten Metal Reactor on Fast Neutrons (HMMR) with Dispersed Fuel, Abstr., 10-th International Seminar on Advanced Nuclear Fuel Cycle for the XXI Century, 24-27 September, 2007, p. 94, Nizhny Novgorod, Russia.

2.11.- La Información expreso de la Entidad federal "Instituto de Investigación Científica y de Construcción de Técnica Energética. A. Dollezhalja" según los materiales de la prensa nacional y extranjera. Serie: los reactores nucleares de innovación y los ciclos de combustible. La ed. № 1 (12). 2008.

2.12.- Nuclear Technology Review 2007. IAEA. GC (51)/INF/3. 2 July 2007.

2.13.- Progress in Design and Technology Development for Innovative Small and Medium Sized Reactors. IAEA. 2 July 2007.

2.14.- Innovative Small and Medium Sized Reactors: Design Features, Safety Approaches and R&D Trends. Final report of a technical meeting held in Vienna, 7-11 June 2004. IAEA-TECDOC-1451, Vienna, 2005.

2.15.- Status of Innovative Small and Medium Sized Reactor Designs 2005: Reactors with Conventional Refuelling Schemes. IAEA-TECDOC-1485, Vienna, 2006.

2.16.- Status of Small Reactor Designs without On-Site Refuelling 2007. IAEA-TECDOC-1536, Vienna, 2007.

2.17.- Common Technologies and Issues for Small and Medium Sized Reactors//Nucl. Power Newsletter, 2007, vol. 4, No. 3, p. 24-25.

2.18.- Competitiveness of Small, Medium-Sized Reactors//Nucl. News, 2007, vol. 50, No. 3, p. 85-86.

2.19.- Y. Sokolov et al. IAEA International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles. Collaborative Projects of Phase 2//Trans. ANS, 2007, vol. 97, p. 11-12.

2.20.- J. Perera. Steering INPRO//Nucl. Eng. Int., 2007, vol. 52, No. 638, p. 6.

2.21.- Coordination of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)//Nucl. Power Newsletter, 2007, vol.4, No. 3, p. 1820.

2.22.- El S de E. Gmyrko etc. los Reactores del tipo de canal como la parte integrante de la energética nuclear del país//la Energía atómica, 2007, t. 103, ed. 1, con. 29-36.

2.23.- V. Generalov. More Russian Evolution//Nucl. Eng. Int., 2007, vol. 52, No. 639, p. 20-21.

2.24.- Y. Nakano et al. Conceptual Design Study of 180 MWt Small-Sized Reduced-Moderation Water Reactor Core//J. Nucl. Sci. Technol., 2006, vol.43, No. 12, p. 1471-1480.

2.25.- B. A. Gabaraev, et. al, La instalación de calefacción nuclear - la perspectiva y la solución. Energía Atómica, 2007, t. 103, ed.1, con. 36-40.

2.26.- IAEA-TECDOC-1536 Status of Small Reactor Designs Without On-Site Refuelling 2007. IAEA, Vienna, January 2007, p. 319-322.

2.27.- J. G. B. Saccheri, et al., Design and Economic Evaluation of on Advanced Tight-Lattice Core for the IRIS Integral Primary System Reactor//Nucl. Technol., June 2007, vol. 158, No. 3, p. 315-347.

2.28.- A. G. Glazov, et. al., El Reactor BREST y el ciclo nuclear de combustible anexo a la central. Energía atómica, 2007, t. 103, ed. 1, con. 15-21.

2.29.- Tae W. Kim et al. Conceptual Design of Modular Optimized Brayton Integral System//Trans. ANS, 2007, vol. 97, p. 43-44.

2.30.- Nam H. Kim et. al. Conceptual Design of Naval Application Vessel Integral System//Trans. ANS, 2007, vol. 97, p. 855-856.

2.31.- K. Petrunik. Ready for the Market//Nucl. Eng. Int., 2007, vol. 52, No. 639, p. 16-18.

2.32.- Y. Chikazawa et. al., A Feasibility Study on a Small Sodium Cooled Reactor as a Diversified Power Source//J. Nucl. Sci. Technol., 2006, vol. 43, No. 8, p. 829-843.

2.33.- Y. Chikazawa et. al., A Modular Metal-Fuel Fast Reactor with One-Loop Main Cooling System//Nucl. Technol., 2007, vol. 159, No. 3, p. 267-278.

2.34.- K. Metachi, T. Yomamoto, Three-Region Core Design for 200 MWe Molten-Salt Reactor with Thorium-Uranium Fuel//Nucl. Technol., June 2007, vol. 158 No. 3, p. 348-351.

2.35.- Análisis para la eventual puesta en marcha de un programa nuclear para la generación eléctrica en Uruguay. Octubre de 2008.

2.36.- Art. de N. Alekseev et. al., La energética nuclear pequeña y los recursos del combustible orgánico//Energía: la economía, la técnica, la ecología, 2007, ed. 7, con. 21-29.

2.37.- A. G. Ishekov et. al., el Análisis de la eficiencia económica de las centrales nucleares de la potencia baja//la Energía atómica, 2007, t. 102, ed. 6, con. 331-336.

2.38.- A. Isaev. Las perspectivas de la aplicación de los reactores de baja potencia con la duración grande de la campaña//la técnica Nuclear (Atómica) al extranjero, 2007, ed. 6, con. 11-18.

2.39.- NEA 2006 Annual Report. OECD Nuclear Energy Agency. 2007.

Capítulo 3

Seguridad Nuclear

Para evaluar adecuadamente el impacto y el riesgo que representa la opción nuclear para generar electricidad, hay que considerar que su seguridad se basa en el aspecto tecnológico y el conocimiento científico desarrollado durante más de 50 años de estudio y experiencia práctica, en ámbitos de vanguardia internacional. Por ello, se ha considerado necesario proveer en este capítulo la información necesaria para los análisis que se realizarán con posterioridad en el desarrollo de este estudio.

A diferencia de las formas convencionales de producir energía quemando combustible fósil, el impacto de una central nuclear y el riesgo que representa su instalación y operación, tanto para el medioambiente como para las personas, son mínimos. Esto se puede afirmar considerando que la técnica desarrollada para provocar la reacción nuclear se basa en la comprensión de las leyes naturales que la determinan y el manejo armónico de estas. Quemar combustible, sea este petróleo, gas o carbón, implica una intervención anómala en los procesos naturales de la tierra y de ahí sus efectos indeseados. Ese camino ha conducido a una crisis en que los recursos naturales están agotándose y el clima cambia producto de la elevación de la temperatura del planeta, causada por esta práctica. En cambio, la fisión nuclear consiste en reproducir bajo circunstancias controladas un fenómeno que se produce de manera natural y a cada instante en el universo, siendo incluso parte de la vida.

Ciertamente la radiación en altas dosis resulta nociva para los organismos. Sin embargo, el medioambiente natural está lleno de radiación de diverso origen, incluyendo la de equipos creados por el hombre y tan cotidianos como el horno microondas o el teléfono celular. La radiación es muy útil en la medicina, por ejemplo, campo que se sirve de una amplia variedad de sistemas tecnológicos para operar al nivel nuclear y materiales que emiten de radiación. Todos alguna vez nos hemos expuesto a la radiación al hacernos un examen de rayos X y muchas personas se enfrentan al cáncer sometiéndose a terapia de radiación. Cada uno de nosotros recibe la radiación del sol, que es un verdadero reactor nuclear: los procesos que se registran en el sol son en cierta medida similares a los que se recrean en una central núcleo eléctrica, claro que los del sol corresponden a “fusión” y lo nuestro de hoy es “fisión”.

La alta complejidad que implica la ciencia nuclear se ha visto compensada con el veloz avance de la industria que pone en práctica sus principios, para aprovechar la ilimitada fuente de energía que produce la fisión del átomo. Lamentablemente, en sus albores, la

ciencia nuclear se utilizó prioritariamente para fines bélicos y la humanidad comprendió con el horror de miles de víctimas inocentes que la energía atómica podía ser también algo muy malo.

Lo cierto es que la industria nuclear con fines pacíficos siguió también su propio camino, aprovechando el conocimiento y la experiencia tanto de aquellos episodios de violencia como de los descubrimientos que los hicieron posibles. Tampoco ha estado exenta de accidentes graves y lamentables, como lo fueron las fallas de las centrales Three Mile Island, en Estados Unidos, y Chernobyl, en Ucrania. Sin embargo, hay que destacar que ambos eventos fueron causados por errores humanos, relacionados con una operación negligente, más que a un repentino suceso inevitable relacionado con el reactor, el combustible o alguno de los sistemas diseñados para producir la reacción de fisión.

Al decir que el impacto y el riesgo indeseado de la energía nuclear son mínimos, en ninguna caso se desconoce que entraña un cierto peligro. Ciertamente, la estadística demuestra que sólo han ocurrido dos accidentes severos, mencionados con anterioridad, con consecuencias para el medioambiente y la población en comparación con cinco décadas de beneficio, al punto de que casi una quinta parte de la electricidad del mundo se produce en centrales nucleares.

Actualmente la ciencia y la tecnología desarrollada por la industria nuclear garantizan que este riesgo está bajo control. La existencia de una central nuclear, tanto para la población como para sus trabajadores que operan en las áreas directamente relacionadas con elementos altamente radioactivos, representa un nivel de riesgo significativamente inferior al de otras actividades. Este conocimiento técnico ha sido desarrollado en un contexto de colaboración internacional ejemplar, lo que también implica que actualmente exista un marco normativo y legal completo que garantizan excelentes niveles de bajo impacto y riesgo en el uso la energía nuclear.

Los sistemas de seguridad de las centrales nucleares modernas representan el máximo logro de la ciencia y la tecnología, proceso que va perfeccionándose día a día, incorporando constantemente nuevas mejoras a la industria. Esto implica por ejemplo, la capacidad de hacer frente con éxito no solo a eventuales fallas de la central, sino también a eventos externos como la actividad sísmica o ataques terroristas.

A pesar de esto, es inexacto afirmar que el peligro de la energía nuclear ha sido suprimido por la ciencia. Pero resulta indudable que se trata de un campo que se ha desarrollado intensamente, precisamente por la necesidad de brindar una seguridad que reduzca el impacto y minimice el riesgo, lo cual ha dado origen no solo a avances tecnológicos

significativos, sino también a una cultura de la seguridad total. A continuación se revisa detalladamente estos aspectos.

3.1. Principales requerimientos de seguridad en las centrales nucleares[52, 53,54]

El objetivo fundamental de la Seguridad Nuclear es el de proteger la población y el medioambiente contra los efectos de eventuales emisiones de sustancias radiactivas. La máxima de esta industria es que "La presencia de una central nuclear en un emplazamiento no debe constituir un riesgo para los habitantes de su entorno". Esto significa que:

- En funcionamiento normal, las dosis recibidas por los trabajadores y el público en general, deben ser tan bajas como sea posible y siempre inferiores a los límites fijados por las normas las que a su vez, se basa en los índices de radiación normales a los cuales el ser humano se somete a diario por la naturaleza.

- En caso de un accidente hipotético, los sistemas de seguridad existentes deben evitar que la fuga radioactiva afecte a la población.

En las centrales nucleares todos los sistemas responden a la filosofía de la "seguridad total". Este concepto supone el establecimiento de distintas barreras de protección que evitan que los productos radiactivos que existen y que se encuentran dentro del reactor lleguen al medioambiente. Las barreras de contención son tres (ver Figura 3.1), aunque algunos autores hablan de cuatro, ya que suponen que la pastilla en la que se aloja el combustible es la primera barrera efectiva.

En todo caso, se considera a las barras dentro de las que se encuentran las pastillas de combustibles como la primera barrera; la vasija del reactor en la que se aloja el núcleo con las barras de combustible y el circuito primario forma la segunda barrera; y el recinto de contención es la tercera barrera.

---

[52] Elaboración propia en base a la experiencia del Consorcio Rosatom de la Federación de Rusia.

[53] Basic Principles for Nuclear Power Plants (75-INSAG-3 Rev. 1), A report by International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG-12), IAEA, Vienna, 1999.

[54] Safety Culture (75-INSAG-4), a report by International Safety Advisory Group, IAEA, Vienna, 1991

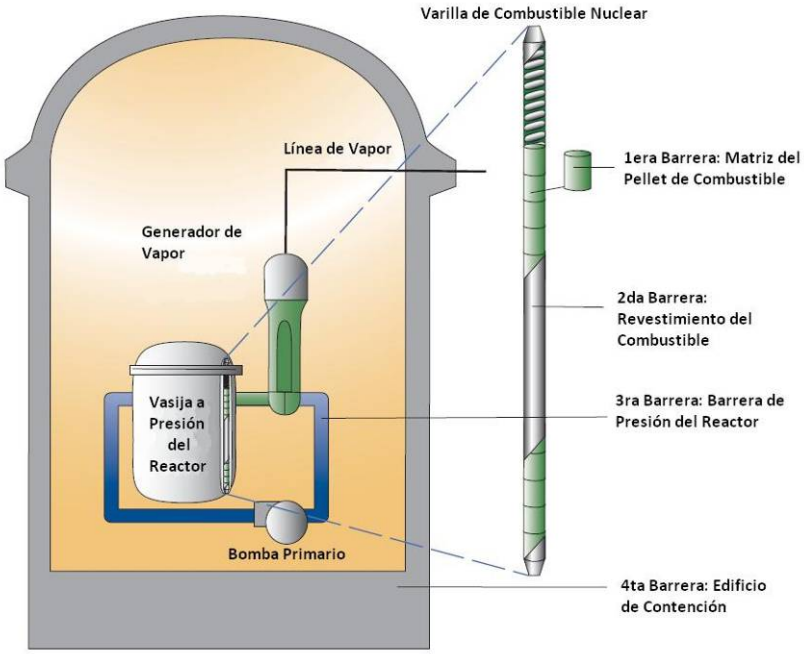


Figura 3.1 *– Barreras de contención típicas para el confinamiento de los materiales radioactivos del primer circuito de una central nuclear*[55]*.*

La tercera barrera en realidad son muros de más de un metro de espesor de hormigón armado forrado por la cara interna con una capa de varios centímetros de acero. Este recinto de contención se construye de acuerdo a muy rigurosas prescripciones técnicas de manera de ser resistentes a terremotos, choque de un avión o atentados terroristas. La función de la contención es evitar que, en caso de un eventual accidente, la radiación salga al exterior.

Los niveles de seguridad generalmente más aceptados son cinco. El primero de ellos es una construcción sólida, de acuerdo a estrictas normas de construcción y a un riguroso control de calidad. Durante la construcción de este recinto, las pruebas de control de calidad son constantes y antes de la puesta en marcha de una central esta se inspeccionan en numerosas ocasiones para garantizar que fue construida de acuerdo al diseño original.

El segundo nivel de seguridad es el cumplimiento de rigurosos controles para mantener siempre a la central dentro de las condiciones normales de operación. El tercer nivel consiste en sistemas de seguridad capaces de hacer frente a los posibles accidentes e incidentes. El cuarto son aquellos métodos desarrollados para el control "tecnológico" de

[55] Figura tomada de: Nuclear Energy Today, Nuclear Energy Agency/OECD, Paris, 2005.

eventuales accidentes, incluidos accidentes con daños en el núcleo, si los hubiera. Y, por último, están todos aquellos planes de contingencia para hacer frente a las emergencias que puedan ocurrir. En la Figura 3.2 se muestra esquemáticamente todos los elementos considerados para garantizar la seguridad de una central nuclear (o cualquier instalación nuclear).

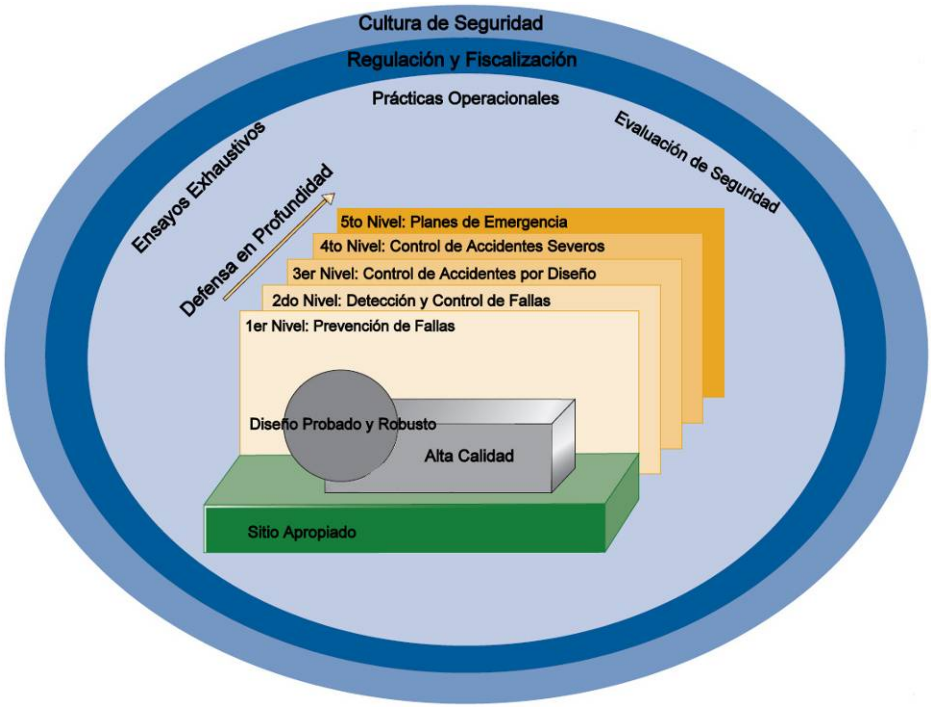


Figura 3.2 *– Representación de los elementos considerados en la seguridad nuclear de una central nuclear*[56]*.*

Los sistemas de seguridad de la central nuclear garantizan:

- que el material radioactivo esta siempre confinado,
- que el proceso de fisión de los núcleos de uranio presentes en la zona activa del reactor en todo momento pueda ser detenido de manera instantánea si persiste cualquier tipo de anormalidad para concluir la generación menos la del calor residual y

[56] Figura tomada de: Nuclear Energy Today, Nuclear Energy Agency/OECD, Paris, 2005

- que el calor residual sea extraído después del apagado del reactor de manera de proteger las barreras de integridad contra las fugas de material radioactivo.

En todo caso, cuando se hacen análisis de riesgos en las centrales nucleares se hacen pensando que puede ocurrir siempre lo más improbable. Por eso, todos los sistemas de seguridad son redundantes, es decir, que siempre hay varios sistemas capaces de hacer determinada tarea, de manera que cualquiera de ellos, si uno falla, permite funcionar con normalidad. Además, se utiliza el criterio de diversidad, es decir, dos métodos distintos para hacer una sola cosa. Por ejemplo, para detener la reacción en cadena en el núcleo del reactor se pueden bajar las barras de control o introducir agua borada, ambas detienen la reacción.

El concepto de seguridad en profundidad, presente en las actividades nucleares, exige tener siempre prevista una eventualidad improbable, y tener preparada una solución ante ese hecho poco probable si es que llegase a ocurrir.

Es por esta razón que antes de iniciar un proyecto nuclear, hay que considerar que un grupo no menor de personas piensan que los riesgos, básicamente un accidente tipo Chernobyl, si llegase este a ocurrir, significa que va a contaminar una gran zona durante mucho tiempo, por lo tanto concluyen “que los riesgos de la industria nuclear son mayores que los beneficios, ya que las ventajas que reporta a la sociedad la energía eléctrica que produce, no compensa a esa posibilidad cierta de ocurrir un accidente que contamina toda el área”.

La selección del emplazamiento, es un elemento importante de seguridad a considerar en un proyecto. El proceso de selección, como se verá más adelante, exige considerar condiciones de todo tipo, demográficas, climáticas, sísmicas, medios de comunicación, etc., antes de tomar una decisión. Una adecuada preparación y capacitación del personal asegura un control total sobre los sistemas operacionales del reactor y la central en su totalidad y desde una incidencia directa a la disminución de los errores humanos que pudiera provocar un accidente o incidente nuclear en estas instalaciones.

Finalmente, la preparación de eventuales evacuaciones de la población ante situaciones límites, está normada y claramente establecida y coordinada con las organizaciones y autoridades locales y regionales como son la Autoridad Reguladora Nacional, Gobierno Civil, fuerzas del orden, organizaciones vecinales y de protección pública. Más adelante, se presenta las características principales que tienen estas actividades que se recogen en el Plan de Emergencia de la central nuclear.

Las Autoridades Reguladoras Nucleares en cada país, controlan que los riegos asumidos estén siempre dentro de los límites tolerables. Para ello, el control se realiza a todo nivel

de manera que se cumplan las medidas de seguridad normadas. Se puede afirmar sin temor a equivocarse que no hay ninguna otra industria en el mundo, quizá con la excepción de la aviación civil y la aeronáutica espacial, que esté sometida a los mismos controles de seguridad equivalentes a los que están sometidas las centrales nucleares. La comparación con la aviación civil es muy buena, pues tanto en la industria nuclear como en la aviación, el riesgo siempre existe, y si llegase a ocurrir un daño este es catastrófico. En la aviación por ejemplo, si hay un error en el momento de aterrizaje, pueden morir en segundos 300 - 400 personas; en un reactor, si ocurriera un accidente severo, el daño también es equivalente. Pero, existiendo ese riesgo en la aviación civil, todos los días despegan y aterrizan ciento de miles de aviones con pasajeros. ¿Porque lo hacen y siguen haciéndolo? Pues calculan los riesgos versus los beneficios del transporte rápido que otorga la aviación, y concluyen que el riesgo vale la pena correrlo. En la industria nuclear ocurre algo parecido, los riesgos versus los beneficios, considerando la estadística existente, los beneficios superan al riesgo.

La importancia del concepto “seguridad” en los reactores nucleares, mantiene en estos momentos su extraordinaria vigencia no solo por la pérdida de vidas humanas o el daño al medioambiente que puede evitar, sino también por la percepción psicológica de la población. Al igual que con los almacenes de combustible nuclear gastado, aquí hay dos enfoques. Uno es el típico de la energía nuclear actual que se apoya en las diferentes fundamentos probabilísticas y otro, que está cobrando importancia hoy día, es el de crear reactores que por su construcción, y los materiales utilizados, las propiedades físicas que tienen, se elimina la posibilidad de ocurrencia de accidentes severos. A estos reactores se les llama “reactores con seguridad intrínseca”.

En los “reactores con seguridad intrínseca” no hay necesidad de diferenciar los accidentes “de proyecto” de los accidentes “fuera de proyecto”. En tales reactores, la seguridad no se basa en el incremento de las defensas técnicas, y en el aumento de la cantidad y requerimientos de la calificación y disciplina del personal (y, por consiguiente, el aumento del costo), sino en la utilización de leyes naturales, gracias a las cuales se le dio ese nombre. Así, por ejemplo, en los reactores a neutrones rápidos puede ser físicamente excluida la posibilidad de repetición del accidente de Chernobyl que significó la fuga del reactor de neutrones instantáneos o en el accidente en la central nuclear Three Mile Island por pérdida de refrigerante. Se puede también excluir la posibilidad de combustión descontrolada de los materiales (elementos) a cuenta de la utilización del grafito y el sodio. La diferencia en los enfoques examinados se presenta en Figura 3.3[57].

[57] E. O. Adamov, Proyectos innovadores de los reactores nucleares – ¿Capricho de científicos o un imperativo estratégico?, Sitio oficial NIKIET de N. A. Dollezhal (www.nikiet.ru).

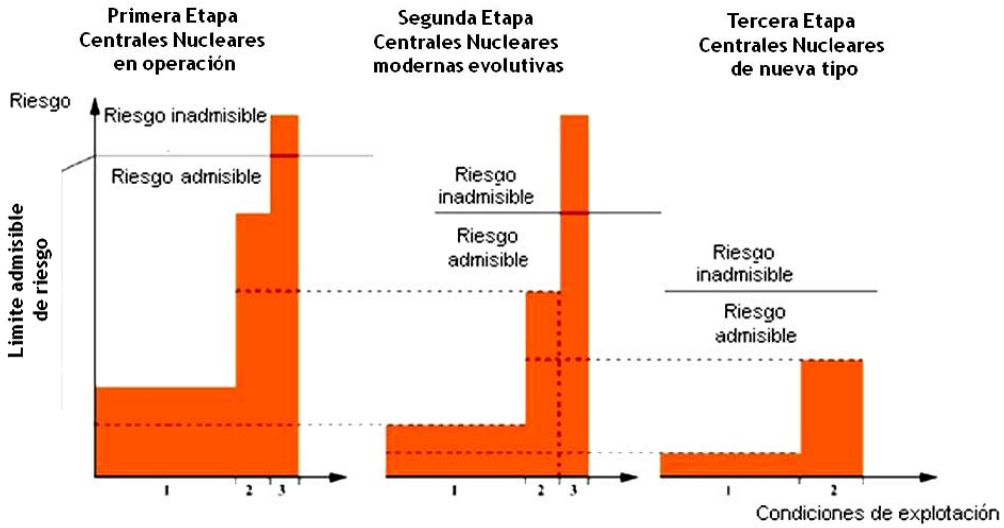


Figura 3.3 - *Seguridad de las centrales nucleares en categorías de riesgo: 1) explotación normal; 2) Accidentes de proyecto; 3) accidentes fuera de proyecto (incluyendo fallas severas)*[58]*.*

Más adelante en la Tabla 3.1 se recogen los accidentes e incidentes ocurridos en las centrales nucleares en correspondencia con la Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES por sus siglas en ingles) aprobada por el OIEA. Además se dará una breve explicación de los accidentes de Chernobyl y Three Mile Island, los más grandes ocurridos en la industria nuclear (sección 3.3).

3.2. Clasificación de incidentes y accidentes

En 1989 el OIEA y el Instituto de Energía Nuclear de la OECD diseñaron la "Escala Internacional de Eventos Nucleares y Radiológicos"[59,60] (INES, por su sigla en inglés). El objetivo fundamental de esta clasificación es la de facilitar la comunicación y el entendimiento entre la comunidad técnica, los medios de comunicación y la población sobre

[58] E. O. Adamov, Proyectos innovadores de los reactores nucleares – ¿Capricho de científicos o un imperativo estratégico?, Sitio oficial NIKIET de N. A. Dollezhal (www.nikiet.ru).

[59] The International Nuclear and Radiological Event Scale, Information Services/Division of Public Information 08-26941/E, Vienna, IAEA, Nuclear Energy Agency (OECD). (http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf)

[60] The International Nuclear Event Scale (INES) User´s Manuel, Edition 2001, IAEA/OECD/NEA, Vienna, February 2001. (http://www-ns.iaea.org/downloads/ni/ines/INES-2001-E.pdf).

los eventos de importancia vinculado con la seguridad de las instalaciones nucleares (industria nuclear en toda su extensión) y radiológicas (centros de investigación, aplicaciones industriales, medicina).

La clasificación tiene en cuenta tres elementos:

- El impacto sobre la llamada "defensa en profundidad", es decir, sobre el conjunto de medidas diseñadas para prevenir accidentes.
- El impacto sobre las barreras de seguridad radiológica y los sistemas de control de la instalación, con efectos dentro de la misma.
- El impacto sobre la persona y el entorno fuera del lugar de la instalación.

La Tabla 3.1, presentada anterior, se recoge la Escala INES, así como los eventos que han sido reportados al OIEA.

Tabla 3.1 *– Esquema de los distintos niveles de eventos y ejemplos en cada nivel.*

NIVEL DESCRIPTOR		DESCRIPCION	EJEMPLOS
ACCIDENTES	**7** **ACCIDENTE** **GRAVE**	• Liberación de una gran parte del material radioactivo de una instalación grande (por ejemplo, el núcleo de un reactor de potencia). Ello comprendería típicamente una mezcla de productos de fisión radioactivos de corta y larga vida. • Posibles efectos agudos para la salud; efectos retardados para la salud en una amplia zona que abarcase posiblemente más de un país; consecuencias a largo plazo para el medioambiente, como resultado de esa liberación.	Un único ejemplo en la industria nucleoeléctrica: Chernobyl, Ucrania, 1986
	6 **ACCIDENTE** **IMPORTANTE**	• Liberación externa relevante de material radioactivo. Probable puesta en práctica plena de las contramedidas previstas en los planes locales para casos de emergencia a fin de limitar efectos severos para la salud.	Ningún ejemplo en la industria nucleoeléctrica
	5	En un accidente de este nivel se produce al menos una de las siguientes situaciones:	Un único ejemplo en la industria

NIVEL DESCRIPTOR		DESCRIPCION	EJEMPLOS
	ACCIDENTE CON RIESGO FUERA DEL EMPLAZAMIENTO	• Liberación externa de material radioactivo. Probable puesta en práctica parcial de las contramedidas previstas en los planes para casos de emergencia, a fin de reducir la probabilidad de efectos sobre la salud. • Daños graves en la instalación nuclear, que puede incluir daños graves en una gran parte del núcleo de un reactor de potencia, un accidente de criticidad importante o un incendio o explosión importante que libere grandes cantidades de radioactividad dentro de la instalación.	nucleoeléctrica: Three Mile Island, EE.UU., 1979
	4 ACCIDENTE SIN RIESGO SIGNIFICATIVO FUERA DEL EMPLAZAMIENTO	En un accidente de este nivel se produce al menos una de las siguiente situaciones: • Liberación externa de radioactividad que tenga como resultado una dosis al individuo más expuesto fuera del emplazamiento del orden de algunos milisieverts (es decir, del orden de la radioactividad natural). Baja probabilidad de que se requieran medidas de protección fuera del emplazamiento con excepción de un posible monitoreo local de los alimentos. • Daños significativos en la instalación nuclear, los que podrían comprender daños en la central nuclear que originasen problemas de recuperación en el emplazamiento, tal como la fusión parcial del núcleo en un rector de potencia. • Irradiación de uno o más trabajadores que podría traducirse en una sobreexposición con probabilidad alta de muerte temprana.	Plata de elaboración de Windscale, Reino Unido, 1973 Saint Laurent Francia, 1980 Conjunto Crítico de Buenos Aires, Argentina, 1983
INCIDENTE	**3 INCIDENTE**	En un incidente de este nivel se produce al menos una de las siguientes situaciones: • Liberación externa de radioactividad superior a los límites autorizados que dé	Central Nuclear Vandellos I (España, 1986)

NIVEL DESCRIPTOR		DESCRIPCION	EJEMPLOS
	IMPORTANTE	por resultado una dosis al individuo más expuesto fuera del emplazamiento del orden de décimas de milisievert (menor que la radioactividad natural) Posiblemente no se requieran medidas de protección fuera del emplazamiento. • Dosis recibidas por los trabajadores en el emplazamiento suficiente como para causar efectos agudos en la salud. • Fuerte difusión de contaminación liberada en una contención secundaria en que el material pueda llevarse de vuelta a una zona de almacenamiento satisfactoria. • Incidentes en los que un eventual fallo ulterior de los sistemas de seguridad podría dar lugar a condiciones de accidente o a una situación en la que los sistemas de seguridad no pudiesen impedir un accidente si se produjeran ciertos sucesos iniciadores.	
	2 **INCIDENTE**	En un incidente de este nivel se produce al menos una de la siguientes situaciones: • Fallo significativo de las disposiciones de seguridad pero en los que subsiste una defensa en profundidad suficiente para hacer frente a otros fallos. • Dosis recibida por un trabajo que exceda al límite de dos anual establecido y/o un suceso que cause la presencia de cantidades significativas de radioactividad en la instalación en zonas no previstas según diseño y que requiera medidas correctivas.	Los dos incidentes producidos en España en las Centrales Nucleares Trillo, 1982 y Vandellos II, 2004

NIVEL DESCRIPTOR	DESCRIPCION	EJEMPLOS

DESVIOS	**0** **DEBAJO DE LA** **ESCALA**	• Sin significado para la seguridad. • Desvío de los límites y condiciones operacionales no se exceden y que son manejados apropiadamente siguiendo procedimientos adecuados. Como ejemplo se incluye: una única falla aleatoria en un sistema redundante detectado durante la inspección o chequeo periódico, inserción de las barras de control planificada evolucionando normalmente, iniciación espuria de los sistemas de protección sin consecuencias significativas, perdidas dentro de los limites operacionales, contaminación menor dentro de áreas controladas sin mayores implicancias para la cultura de seguridad.	

3.3. Los accidentes más relevantes de la industria núcleo-energética

La industria nuclear a la fecha ha tenido dos accidentes severos, Three Mile Island (Grado 5) y el más grave, Chernobyl (grado 7).

3.3.1. Three Mile Island[61]

La central nuclear Three Mile Island está ubicada a 16 Km. Al sudeste de Harrisburg (60.000 habitantes), en el estado de Pensilvana, EE.UU. Esta central poseía 2 reactores: TMI-1 y TMI-2. En 1979 se produjo allí el único accidente en la historia de la generación núcleo eléctrica comercial norteamericana. Este accidente está catalogado dentro de la escala INES como 5.

La unidad accidentada, TMI-2, era un PWR estándar. El accidente se debió a una falla producida en el sistema refrigerante estando el reactor operando al 97% de su potencia nominal. Se trató de una falla mecánica en una bomba, combinado con una serie de errores humanos de mantenimiento y fallas institucionales.

El combustible se fundió pero las barreras de contención funcionaron, liberándose menos del 1% del inventario total de productos de fisión. Hasta el momento no ha sido posible demostrar un impacto de este accidente sobre la salud del público.

[61] http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html.

Imagen 3.1 *– Vista de la Central Nuclear Three Mile Island, Estados Unidos*[62]

Si bien el reactor se destruyó, nadie resultó herido. El accidente dejó en evidencia deficiencias importantes en los procedimientos de operación del reactor, en el entrenamiento de los operadores y en la gestión de la información al público. Estos aspectos han sido incorporados como aprendizaje y tenidos en cuenta de ahí en adelante.

3.3.2. Chernobyl

La central nuclear Chernobyl está ubicada en las cercanías de la ciudad de Prypiat en Ucrania.

La central poseía cuatro reactores RBMK-1000, cada uno con una potencia de 1.000 MW. El 26 de abril de 1986 ocurrió un accidente en el reactor número 4 de la central que ha sido catalogado como el peor accidente en la historia de la industria nuclear (grado 7). Como

[62] Dos reactores tipo PWR. El reactor de la unidad 1 (TMI-1 de 786 MW y el de la unidad 2 (TM-II), donde ocurrió el accidente de 900 MW.

consecuencia, el reactor 4 resultó completamente destruido y actualmente se encuentra confinado dentro de un sarcófago de concreto para evitar el escape de radiación.

Imagen 3.2 *– Unidad 4 de la central nuclear de Chernobyl donde ocurrió el accidente. Se puede apreciar la estructura de hormigón denominada "sarcófago" diseñado para contener el material radioactivo del núcleo del reactor y para una duración de 30 años.*

Sin embargo, cabe resaltar que a pesar del accidente, los otros reactores de la central continuaron funcionando. El último fue dado de baja definitivamente en diciembre del año 2000.

El accidente tuvo múltiples causas, todas ellas evitables. En primer lugar, el diseño del reactor era intrínsecamente inestable, era de diseño militar y por lo tanto proclive a este tipo de accidentes. En segundo término, el accidente se produjo por varios errores humanos, al intentar realizar una prueba para determinar la respuesta del reactor en caso de cierto tipo de falla y mejorar así su seguridad. En tercer lugar, existieron errores y omisiones de procedimiento durante la prueba. Por otro lado, algunos equipos no eran "redundantes" en su funcionamiento (es decir, no existía un segundo equipo capaz de sustituir su función en caso de operación defectuosa) fallaron en medio del procedimiento. Por último, y lo que tal vez resulte más difícil de explicar, el reactor de Chernobyl carecía de la cuarta coraza protectora que se describió anteriormente por lo que, al fundirse el reactor, las sustancias radioactivas se liberaron inmediatamente al ambiente.

En 2003, un conjunto de organismos internacionales (entre ellos el OIEA, la OMS, FAO, PNUMA, OCAH-UN, UNSCEAR y el PNUD), así como los gobiernos de Rusia, Ucrania y Bielorrusia, crearon el Foro Chernobyl, en el que un conjunto de científicos estudiaron las consecuencias del accidente, 20 años después de ocurrido. El trabajo realizado se basa en los estudios llevados a cabo por UNSCEAR, cuyas conclusiones fueron presentadas en el año 2000 [63], así como por varios cientos de artículos publicados en revistas científicas internacionales.

A continuación se presenta la radiación recibida por distintos estratos de la población en ocasión de este accidente. Varios obreros de la central, próximos al lugar del accidente, así como los bomberos que apagaron el incendio (un total de 500 personas), recibieron dosis por encima del umbral de 1 Sv. Los llamados "liquidadores", es decir las 200.000 personas que se alternaron durante meses para fabricar el sarcófago alrededor de los restos de la porción afectada del bloque recibieron, en promedio, unos 100 mSv cada uno. La población que habitaba a escasa distancia de la central, y que fue (mal y tardíamente) evacuada unos días después del accidente, unas 115.000 personas, recibió, en promedio, 10 mSv. Esta dosis es sólo unas 5 veces mayor que la radiactividad natural. Las 270.000 personas que habitaban a una distancia un poco mayor de la central, y que no fueron evacuadas recibieron, en media, unos 50 mSv. Por último, las decenas de millones de personas que habitan a distancias mayores de Chernobyl, pero en regiones donde ha logrado medirse algún aumento de la radiactividad natural (unas 5 millones de personas) han recibido en promedio alrededor de 10 mSv debido al accidente.

En base a estos estudios, el Foro Chernobyl presentó un informe[64] [65] que analiza los efectos sobre la salud, a medio plazo, que han ocurrido sobre los afectados por el accidente. El informe, editado por la OMS, concluye que, además de las 32 personas que fallecieron en el momento del accidente, de las 600.000 personas más expuestas, unas 4.000 podrían fallecer por cáncer originado como consecuencia del accidente. Más allá de las víctimas, la consecuencia ambiental más notable del accidente es que los suelos, en un radio de 30 Km. alrededor de la central, quedaron inutilizados para uso agrícola durante unos 30 años.

El análisis del accidente de la Central Nuclear de Chernobyl puso en evidencia las deficiencias constructivas de los reactores tipo RBMK y los errores del personal.

---

[63] UNSCEAR, Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiación Atómica, Vol. 1, Informe del año 2000 a las Naciones Unidas.

[64] http://chernobyl.undo.org/english/docs/chernobyl.pdf, "Chernobyl´s legacy: health, environmental and socio-economic impacts", 2005.

[65] Comunicado de prensa del OIEA, Chernobyl: La verdadera escala del accidente", septiembre de 2005.

Posteriormente a este accidente, los reactores de este modelo fueron retirados de servicio y los que quedaron fueron modernizados los sistemas de seguridad.

Estas averías, especialmente la de Chernobyl dio importantes lecciones para corregir procedimientos, normas de seguridad, y aplicación de nuevas tecnologías de seguridad, lo que permitió posteriormente elevar notablemente los estándares de seguridad de las centrales nucleares de todo el mundo. Básicamente los nuevos procedimientos repercutieron en:

1. Disminuyó el porcentaje de fallas a tasa insignificantes
2. Se mejoró la integridad de la vasija del reactor.
3. Los productos de fisión desprendidos en una eventual avería no salen fuera de los límites del bloque y del reactor.
4. Mejoraron notablemente los principios de defensa en profundidad de los reactores para la protección de la población y el medioambiente.
5. Se descubrieron y eliminaron alrededor de 200 lados “débiles”, lo que disminuyó considerablemente las detenciones del reactor por fallas de seguridad.
6. La elaboración de procedimientos adecuados para el desmontaje y desactivaciones del proceso nuclear, aseguraron un desmantelamiento fácil de las unidades de la central nuclear.
7. Se crearon institutos especializados en la operación de centrales nucleares lo cual mejoró la eficiencia y seguridad de las mismas.
8. Los órganos de regulación incluyeron los requerimientos especiales y medidas de seguridad rigurosas para la población en caso de emergencias.

Esto llevó a que el riesgo de accidentes en las centrales nucleares fuera notablemente inferior comparado a otras operaciones industriales incluida la producción de energía eléctrica por otras fuentes.

3.4. Colaboración internacional

Desde hace años viene funcionando en el seno del Organismo Internacional de energía Atómica, la Convención sobre Seguridad Nuclear, en la que participan países de todo el mundo en donde se revisan y evalúan los programas nucleares de cada Estado parte. En el año 1997 se incorporó la Convención conjunta sobre la seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre la seguridad en la gestión de los residuos radiactivos.

El seguimiento del cumplimiento por los miembros de las obligaciones contraídas es responsabilidad directa de los Estados partícipes.

Periódicamente, cada país presenta un informe en el que, entre otros temas, se incluye:

- Una exposición de la política nacional en materia nuclear.
- Relación y detalle de los programas nucleares en curso o previstos a futuro.
- Descripción de los principales temas de seguridad pendiente.
- Relación de las instalaciones nucleares.
- Basándose en la Convención sobre Seguridad Nuclear, una evaluación de las iniciativas tomadas para cumplir con los requisitos de la Convención. Esto cubre aspectos de legislación, cooperación internacional, planes a futuro, etc.
- Como aspecto particularmente importante del informe se incluye una propuesta de las actividades que pueden mejorar la seguridad nuclear.

Los informes son analizados por todos los Estados parte en la Convención en donde se discuten. Después de un intercambio de opiniones, comentarios y propuestas, los miembros del grupo emiten un documento o informe final que se presenta en la sesión plenaria de la reunión para su revisión y aprobación.

Entre los temas que se tratan en las reuniones pueden destacarse:

- La evaluación del funcionamiento de centrales antiguas.
- La política de gestión ante eventuales accidentes.
- La independencia de los organismos reguladores.

Este proceso implica la participación de todos los países que han ratificado la Convención, la presentación de la situación interna de cada Estado, el tratamiento y solución de diferencias entre países y la mejora unilateral en los temas tratados a partir del diálogo constructivo entre los países miembros.

3.5. Principios fundamentales para garantizar la seguridad en las centrales nucleares[66]

Como se ha señalado anteriormente, La seguridad de las centrales nucleares se garantiza a través de la realización consecutiva de la concepción de la defensa en profundidad, basada en el uso de sistemas de barreras físicas en el trayecto de la propagación de la radiación ionizante y de sustancias radioactivas al medioambiente y, de sistemas de medidas técnicas y organizativas de protección de las barreras y la conservación de su eficiencia, así como de la protección del personal, la población y del medioambiente. Este concepto de seguridad prevé distintos niveles que fueron mencionados de forma general al principio de este capítulo, por lo que aquí se realizará un análisis más detallado de ellos.

El nivel 1 de la concepción de la defensa en profundidad considera las siguientes condiciones para la ubicación de la central nuclear y la eliminación de las desviaciones de las condiciones normales de operación:

- evaluación y selección del área apropiada para la ubicación de la central nuclear;
- establecimiento de la zona sanitaria de protección y de la zona de vigilancia alrededor de la central nuclear;
- diseño del proyecto basado en un enfoque conservativo con el desarrollo de propiedades internas de autoprotección de la instalación del reactor;
- aseguramiento de la calidad exigida a los sistemas (elementos) de la central y de la ejecución de los trabajos;
- operación de la central nuclear en correspondencia con las exigencias de los documentos autorizados, los reglamentos tecnológicos e instrucciones de operación;
- mantenimiento en buen estado de todos los sistemas de seguridad vigentes que detectan los defectos y la presencia de partes y piezas gastadas de todos los equipos en funcionamiento de una central;
- selección y mantenimiento del nivel de calificación necesario del personal de la central nuclear para las acciones durante la operación normal y durante las desviaciones del régimen normal de operación, incluyendo las situaciones previas y

[66] Idem 51, 52 y 53.

durante las averías, formando con ello una cultura de seguridad permanente y altamente exigente.

El Nivel 2 prevé la prevención de las averías de proyecto con los sistemas de la explotación normal:

- Detectar a tiempo las desviaciones de las condiciones normales de operación y su corrección inmediata;
- Saber operar la central en presencia de desviaciones de las condiciones normales de operación.

Para el Nivel 3 se prevé la prevención de accidentes fuera de proyecto con los sistemas de seguridad:

- prevención a la presencia de sucesos iniciadores en averías de proyecto y en averías fuera de proyecto;
- atenuación de las consecuencias de las averías, que no se han podido prevenir, mediante la localización de sustancias radioactivas de fisión.

En el Nivel 4 se prevé el control de las averías fuera de proyecto:

- prevención del desarrollo de los accidentes fuera de proyecto y el control de sus consecuencias;
- protección de la barrera hermética de la destrucción durante los accidentes fuera de proyecto y mantenimiento de su capacidad de trabajo;
- retorno de la central nuclear a un estado de control, durante el cual se detiene la reacción de fisión en cadena, se asegura la refrigeración constante del combustible y la retención de sustancias radioactivas en los límites establecidos.

El Nivel 5 prevé la preparación del plan de medidas contra averías y la realización (si es necesario) de los planes de emergencia en el emplazamiento de la central nuclear y sus alrededores.

3.6. La seguridad en las centrales nucleares modernas[67]

Las iniciativas de los países desarrollados conjuntamente con la colaboración internacional, ha dado lugar a la realización de programas para disponer de diseños avanzados de centrales nucleares. Algunos de ellos ya han sido aplicados y actualmente existen reactores de nuevo diseño en funcionamiento y construcción.

A las actuales centrales nucleares, los que están en construcción y los que se encuentran en la etapa de diseño, cualquiera sea este el modelo o país que lo construya, todos coinciden en cumplir los siguientes requisitos esenciales:

- La seguridad ante todo.
- La reducción de residuos a su máximo nivel tecnológico posible.
- Incorporar en el diseño inicial los planes de desmantelamiento y manejo de combustible gastado.
- Simplificación del diseño para favorecer una operación más segura.
- Reforzar los diseños y normas para impedir el uso indebido por terceros de los productos radiactivos (no proliferación).
- Desarrollar diseños en los que el error humano tenga una mínima incidencia sobre la seguridad.

Como se vio en el capítulo 2, existen en el mundo diversos proyectos de reactores avanzados y de su aplicación en una sociedad futura en donde los combustibles disponibles no siempre serán los mismos que se ocupaban en el pasado. Se trata de evaluar la competitividad de la energía nuclear en esos momentos y tomar las acciones necesarias para asegurar hoy una respuesta acorde con las demandas de seguridad, eficiencia y competitividad de nuestra sociedad en un horizonte de 30 a 50 años. Proyectos como INPRO y GE IV, en los que participan un gran número de países, son un ejemplo real de lo anterior.

Los sistemas de seguridad tienen diseños especiales a prueba de fallas, incluyendo las fallas dependientes y fallas por causa común, y son capaces de cumplir sus funciones sin el suministro de energía.

[67] Idem 51, 52 y 53.

Para las nuevas centrales con reactor del tipo VVER o PWR, que son los más numerosos en el mundo, se establecen los siguientes requerimientos:

- cada sistema de seguridad tiene no menos de cuatro canales, cada uno de los cuales es capaz de realizar la función de seguridad asignada;
- la reserva de canales partiendo de la ejecución del principio de falla única, así como la salida del canal para mantenimiento, si esto es posible durante el trabajo del reactor a potencia;
- en la composición de los sistemas de protección de seguridad, que cumplen funciones de refrigeración por emergencia y de la extracción del calor residual de la zona activa, se utilizan partes activas y pasivas;
- sistema de seguridad de localización también se incluye en su composición los sistemas y elementos pasivos y activos ;
- el sistema de localización de seguridad también incluye en su composición sistema y elementos pasivos y activos;
- la división espacial de canales de los sistemas de seguridad para eliminar la posibilidad de ocurrencia de fallas por causa común (incendios, inundaciones);
- el sistema de mando de seguridad está diseñado a partir de la condición de que la falla en el sistema inicie acciones, encaminadas garantizar la seguridad;
- con el fin de la protección a errores del operador, se utilizan los sistemas automatizados para el inicio de acciones defensivas y el bloqueo de los mandos del operador, que violan las funciones de seguridad;
- los sistemas de seguridad se alimentan con la energía eléctrica de fuentes independientes, hechas según requerimientos de los sistemas de seguridad.

El principio de la autoprotección interna para limitar el desarrollo de los sucesos iniciadores y sus consecuencias dentro de los límites de los criterios de seguridad del proyecto por largo tiempo sin la participación del personal y la ayuda exterior, se aseguran en el proyecto con:

- las propiedades de autolimitación de liberación de la energía en la zona activa por medio de un coeficiente negativo de reactividad por temperatura del combustible por potencia en todo el rango de los paramentaros de operación;

- el accionamiento de órganos de regulación en régimen de protección contra averías basado en la fuerza de la gravedad;
- la utilización en el proyecto de un compensador de presión de gran volumen con colchón de vapor ;
- la composición de equipos y geometrías del primer circuito de la instalación del reactor;
- la ausencia de penetraciones y orificios por debajo de tubuladura de la vasija del reactor y, correspondientemente, por debajo de cota superior de la zona activa;
- un volumen considerable de agua en los generadores de vapor del segundo circuito;
- el uso de elementos pasivos, de dispositivos de corte, de limitación y de alivio;
- la ejecución de la concepción “fuga antes de la destrucción”;
- el uso de masas inerciales de rotación en las bombas principales de circulación para garantizar la circulación de agua a través de la zona activa en casos de no disponer de energía eléctrica.

La evaluación de seguridad de las centrales nucleares tipo VVER o PWR incluye un análisis del comportamiento de la central durante el régimen normal de operación y durante la ocurrencia de fallas de los equipos.

Los regímenes proyectados para la operación en situación de desviación de las condiciones normales de categoría 2, ocurren en las centrales nucleares con una frecuencia mayor a 10^{-2} reactor/año. En el peor de los casos pueden conducir a la parada del reactor, después de la cual la central puede nuevamente entrar en funcionamiento. Tales estados, no tienen tendencia a la proliferación, la amenaza de la aparición de fallas más graves, o sea de estados proyectado de categorías 3 y 4.

A los accidentes de proyecto o regímenes de categoría 3 le corresponden situaciones que pueden ocurrir con una frecuencia desde 10^{-2} hasta 10^{-4} reactor/año. En estas situaciones es posible el daño sólo de una parte limitada de las barras de combustible (no más de 1% del total de elementos de combustible).

A los regímenes de proyecto de la categoría 4 le corresponden situaciones que durante el período de servicio no son esperados, sino eventuales pero pueden provocar la liberación de

gran cantidad de materiales radioactivos. Los regímenes de proyecto de la categoría 4 son los más graves de todos los regímenes de proyecto, contra los cuales deben preverse por proyecto todas las medidas de protección correspondientes.

Los accidentes fuera de proyecto son potencialmente más graves, que los accidentes de proyecto. En esos casos, es necesaria la acción de medios especiales para limitar la dosis de irradiación de la población y del personal de la central nuclear a límites permitidos.

El análisis estadístico de la seguridad para los nuevos proyectos de las centrales nucleares tipo VVER-1200 demostró, la eficiencia y suficiencia del funcionamiento de los sistemas de seguridad y de los sistemas importantes para la seguridad, dentro de las bases del proyecto, el funcionamiento seguro de la central nuclear en regímenes con desviación en las condiciones normales de operación y durante las averías de proyecto. Según el análisis probabilístico de seguridad, la frecuencia total de los deterioros de la zona activa de los reactores VVWER satisface al valor límite de destino de 10^{-6} /año.

Tabla 3.2 - *Principales características de un bloque energético VVER*[68].

Potencia térmica del reactor	3.200 MW
Potencia eléctrica	1.150 MW
Diapasón de regulación	20 -100%
Presión de vapor vivo	7,0 MPa
Quemado máximo del combustible nuclear	Hasta 70 MW.dia/Kg de Uranio
Eficiencia bruta	36,4 %
Tiempo de duración de equipo no reemplazable	60 años
Coeficiente de utilización de la potencia instalada	0,9
Inversión especifica	No mayor de 35.500 rublos/KW
Costo de generación[69]	No mayor de 0,45 rublos/KWh
Resistencia sísmica	7 grados de la escala MSK-64
Caída de un avión con un peso de	Hasta 5,7 t

[68] Los análisis de seguridad para la Central Nuclear-2006, Seminario de la AER y EDF, Moscú, Mayo, 2008.

[69] 1 Rublo = 0,03035 dólares de los Estados Unidos al cambio del 1 de Mayo del 2009.

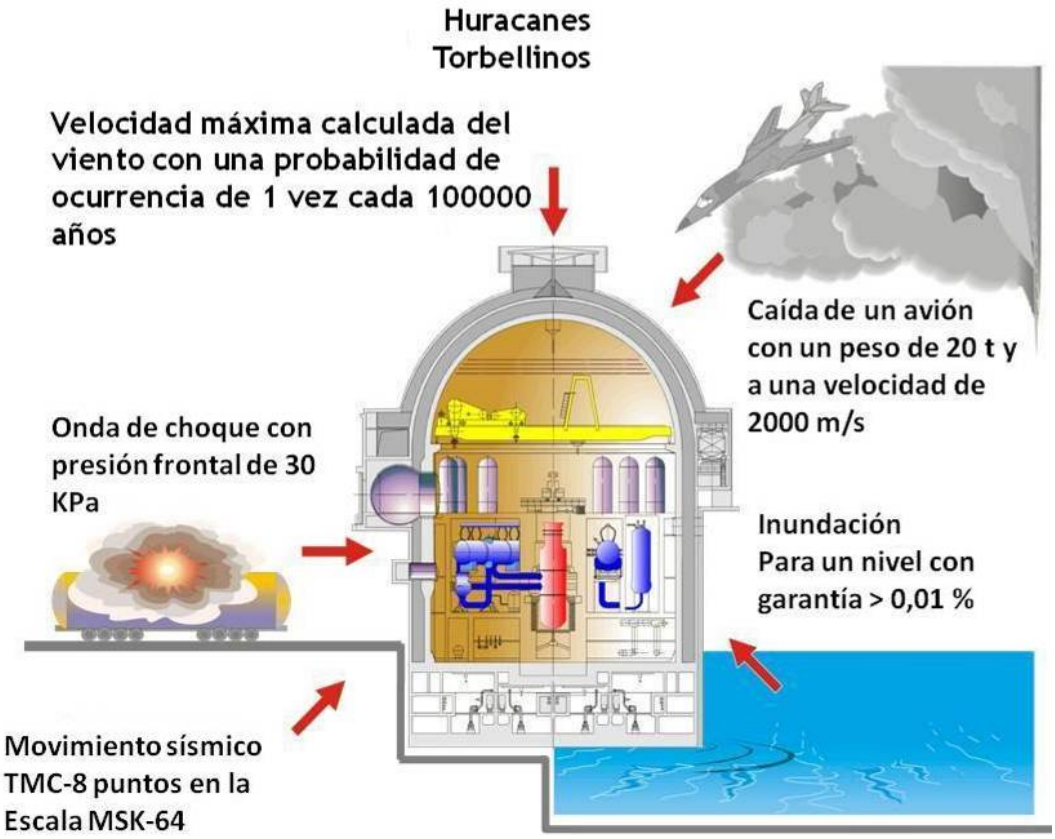


Figura 3.4 *- Representación de eventos externos considerados en el diseño de los modelos de los reactores VVER.*

3.6.1. Seguridad radiológica de las centrales nucleares[70]

La ley establece las bases jurídicas para la garantía de la seguridad radiológica de la población y del personal con el fin de proteger su salud. Establece las nociones, las normativas y el orden de regulación principales en el campo de la garantía de la seguridad radiológica, las medidas necesarias para la seguridad radiológica, las atribuciones del Gobierno y de las personas en el campo de la garantía de seguridad radiológica.

La norma rusa NRB-99 establece los requerimientos y normativas de la acción de las radiaciones ionizante y en ella se reglamenta:

[70] Informe Nacional de la Federación de Rusia sobre el cumplimiento de las obligaciones originada por la Convención de Seguridad Nuclear, Moscú, 2007.

- la exposición radioactiva del personal y la población en condiciones de operación normal de las fuentes tecnógenas de radiación ionizante;
- la exposición radioactiva del personal y la población en condiciones de accidente radiológico;
- la exposición radioactiva de los empleados de empresas industriales y de la población con fuentes naturales de radiación ionizante;
- la exposición radioactiva de la población por tratamientos médicos.

Las principales Reglas Sanitarias de Seguridad Radiológica reglamentan los requerimientos para la protección de las personas contra la influencia de la radioactividad bajo todas las condiciones de irradiación de fuentes ionizantes y reglamenta la ejecución de los requerimientos higiénico-sanitarios para la protección radiológica del personal, la población y el medioambiente contra la acción de las radiaciones ionizantes durante el diseño, la construcción y la operación de las centrales nucleares.

Considerando el nivel alcanzado por la seguridad de la central nuclear en régimen de operación normal, el riesgo radiológico para la población es indudablemente aceptable ($<10^{-6}$ por año). A este respeto, los valores de emisión admitidos y las descargas posibles, de acuerdo con la norma rusa "SP AS-03", se calculan basándose en la dosis de exposición de la población de 10 mSv por año.

De acuerdo con las evaluaciones anuales, la situación radiológica en todas las centrales nucleares de Rusia está en correspondencia con las exigencias de la documentación normalizativa y la Convención de Seguridad Nuclear.

La norma de seguridad radiológica en la mayoría de los países con industria nuclear, establecen el límite de dosis permitido: 20 mSv por año en promedio en 5 años consecutivos, pero nunca mayor a 50 mSv por año.

La disminución de la exposición del personal en las centrales nucleares se obtuvo a cuenta de mejoras tecnológicas y de control, dirigidas al perfeccionamiento de la protección radiológica, al aumento del nivel de la cultura de seguridad, al mejoramiento de la organización de trabajo. El resultado de este trabajo fue una disminución anual de exposición del personal de las centrales nucleares actuales en funcionamiento.

En las Tablas 3.3 y 3.4 se puede apreciar que los límites establecidos para la exposición del personal en las centrales nucleares de Rusia no sobrepasan la norma.

Tabla 3.3 *– Promedio de las dosis individuales de exposición en las centrales nucleares de Rusia en los años 2004-2006*[71].

Central Nuclear, Bloques de la central, tipo de reactor	2004		2005		2006	
	Dosis promedio, [mSv/año]	% hasta 20 mSv	Dosis promedio, [mSv/año]	% hasta 20 mSv	Dosis promedio [mSv/año]	% hasta 20 mSv
Centrales Nucleares con reactores VVER						
Balákov, 1-4, VVER-1000	0,67	3,3	0,67	3,3	0,60	3,0
Volgodón, 1, VVER -1000	0,08	0,40	0,077	0,38	0,078	0,39
Kalinin, 1-3, VVER -1000	0,42	2,1	0,54	2,7	0,46	2,3
Kolsk, 1-4, VVER -440	1,63	8,2	1,15	5,8	1,09	5,5
Novovorónezh, 3,4, VVER -440; 5, VVER -1000	1,95	9,8	2,40	12,0	1,34	6,7
Valor medio ponderado para el VVER	0,95	4,8	1,00	5,0	0,74	3,7
Centrales Nucleares con reactores RBMK						

[71] Informe Nacional de la Federación de Rusia sobre el cumplimiento de las obligaciones originada por la Convención de Seguridad Nuclear, Moscú, 2007

Kursk, 1-4, RBMK-1000	2,96	14,8	2,70	13,5	3,3	16,5
Smolensk, 1-3, RBMK-1000	3,54	17,7	2,46	12,3	2,91	14,6
Leningrado, 1-4, RBMK-1000	2,20	11,0	2,02	10,1	1,82	9,1
Valor medio ponderado para RBMK	2,89	14,5	2,4	12,0	2,68	13,4
Centrales Nucleares con bloques no seriados						
Beloyarsk, 3, FBR-600	0,49	2,5	0,42	2,1	0,46	2,3
Bilibinsk, 1-4, EGP-6	4,49	22,5	3,69	18,5	3,60	18,0
Valor medio ponderado	1,95	9,8	1,68	8,3	1,67	8,4
Valor medio ponderado	2,00	10,0	1,75	8,8	1,80	9,0

Tabla 3.4 *- Dosis colectivas anuales de exposición (S) para un bloque energético*[72]*.*

[72] Informe Nacional de la Federación de Rusia sobre el cumplimiento de las obligaciones originada por la Convención de Seguridad Nuclear, Moscú, 2007

Central Nuclear	(S): persona·Sv/bloque		
	2004	2005	2006
Centrales Nucleares con VVER			
De Balákov	0,61	0,60	0,52
De Volgodón	0,14	0,13	0,13
De Kalíninsk	0,88	0,78	0,60
De Kolsk	0,94	0,66	0,65
De Novovorónezh (tres unidades activas)	1,98	2,49	1,26
Valor medio ponderado	1,00	1,00	0,69
Centrales Nucleares con RBMK			
De Kursk	4,55	3,88	4,70
De Smolensk	5,70	3,80	5,00
De Leningrad	2,82	2,48	2,47
Valor medio ponderado	**4,23**	**3,35**	**4,00**
Centrales Nucleares no seriadas			
De Beloyarsk (Bloque energético No. 3)	0,54	0,47	0,52
De Bilíbinsk	0,71	0,63	0,65
Valor medio ponderado	**0,68**	**0,60**	**0,62**
Valor medio ponderado	**2,13**	**1,77**	**1,84**

En las Tablas 3.5 y 3.6 se presentan los valores medios absolutos y relativos (en porcentaje del límite admitido) de las liberaciones gaseoso-aerosólicas diarias y anuales de las centrales nucleares de Rusia en el año 2006.

Tabla 3.5 *- Valores absolutos y relativos en por ciento del nivel de control (NC) de las liberaciones gaseoso-aerosólicas de las centrales nucleares de Rusia en el año 2006*[73]*.*

Denominación de la central nuclear	**Gases inertes radioactivos**		**^{131}I**	
	GBq	% NC	MBq	% NC
De Balákov	0,4	0,02	0,26	0,5
De Volgodón	0,7	0,03	0,1	0,2
De Kalíninsk	59	3,1	2,5	5,1
De Kolsk	2,0	0,1	0,05	0,1
De Novovorónezh	124	6,5	5,2	11
De Kursk	921	9,1	7,1	2,8
De Smolensk	299	3,0	1,6	0,6
De Leningrad	1800	18	2,4	0,96
De Beloyarsk	33	1,8	Por debajo del nivel de detección	-
De Bilíbinsk	972	18		-

Tabla 3.6 *- Liberaciones gaseoso-aerosólicas anuales de gases nobles radioactivos (GIR) y de radionúclidos de yodo, cesio y cobalto en las centrales nucleares de Rusia en el año 2006*[74]*.*

Denominación	**GIR**	**^{131}I**	**^{134}Cs**	**^{137}Cs**	**^{60}Co**

[73] Ídem 71.
[74] Ídem al 71.

Central Nuclear	TBq/a	%LA	MBq/a	%LA	MBq/a	%LA	MBq/a	%LA	MBq/a	%LA
De Balákov	0,15	0,02	95	0,5	1,81	0,2	4,4	0,2	3,5	0,05
De Volgodón	0,24	0,03	37	0,2	0,2	0,02	0,44	0,02	2,6	0,03
De Kalíninsk	22	3,1	913	5,1	0,4	0,04	2,2	0,1	4,1	0,05
De Kolsk	0,75	0,1	19	0,1	*	-	8,2	0,4	80	1,1
De Novovorónezh	45	6,5	1900	10,6	38	4,2	71	3,6	290	3,9
De Kursk	336	9,1	2585	2,8	9,6	0,7	63	1,6	179	7,2
De Smolensk	109	3,0	589	0,6	*	-	12	0,3	134	5,4
De Leningrad	656	18	889	0,96	37	2,7	170	4,2	196	7,8
De Beloyarsk	12	1,8	-	-	*	-	57	2,9	0,21	0,003
De Bilíbinsk	355	18	*	-	*	-	*	-	*	-
* Liberaciones menores que la actividad mínima detectada de radionúclidos										

LA – Límite admisible; a - Año

Las liberaciones de las centrales nucleares causan dosis muy pequeñas de exposición a la población en las regiones donde se encuentran ubicadas. Estas dosis son menores de 0,01 mSv/año, y no excede al 1% de la dosis anual de la exposición externa creada por el fondo natural de radiación.

Las liberaciones gaseoso-aerosólicas de las centrales nucleares son notablemente más bajas que los límites admisibles. En las centrales nucleares con reactores de tipo canal, la liberación de gases nobles radioactivos no excede al 18% de límite admisible. En las centrales nucleares con reactor tipo VVER es menor al 7 % del límite admisible. La liberación de radionúclido de yodo (^{131}I) no excede al 11% del límite admisible.

La liberación de radionúclidos a la atmósfera en las centrales nucleares de Rusia con VVWER no supera las liberaciones en las centrales nucleares con reactores tipo PWR que se encuentran en operación en otros países del mundo.

Sistemáticamente se realizan mediciones de la concentración de sustancias radioactivas en la atmósfera y en los depósitos de agua, en el suelo y la vegetación, en los productos alimenticios y en los productos agrícolas en un territorio con radio de 30 Km. y en los puntos de control alejados a una distancia de 50 Km. de la central nuclear.

3.6.2. Seguridad en la gestión de los desechos radioactivos

El desarrollo alcanzado en los más de 50 años de operación de las centrales nucleares y las aplicaciones no energéticas de la energía nuclear permiten garantizar una alta gestión en el tratamiento de los desechos de baja y media actividad y constituye actualmente una actividad cotidiana y en constante perfeccionamiento. En cuanto a los desechos de alta actividad provenientes del combustible nuclear gastado también están tomadas las medidas para que este proceso se realice con igual seguridad.

Para este tipo de desecho en la actualidad se tienen 3 vertientes fundamentales (ver Figura 3.5):

- El ciclo abierto del combustible nuclear, donde el combustible nuclear gastado es extraído de la zona activa del reactor nuclear y localizado primeramente en una piscina de refrigeración ubicada en el reciento de contención por un periodo de 7-9 años. Posteriormente es extraído de esta piscina y ubicado en una piscina similar pero fuera del recinto de contención donde se puede mantener durante todo el tiempo de vida útil de la central. La cantidad de estos desechos se corresponden con la cantidad de combustible nuclear gastado que este caso para un reactor de 1.000 MW es 27-30 toneladas por año.

- Ciclo cerrado actual, el combustible nuclear gastado es reprocesado y se extraen Uranio y plutonio que son utilizados nuevamente en la fabricación de combustible nuclear. En este proceso también se obtienen desechos de alta actividad que son vitrificados y enviados al almacén definitivo. El volumen de los desechos en este caso es de 15 m^3 por año, para un reactor de 1.000 MW (PWR/VVWER).

- Ciclo cerrado “avanzado” en el cual el combustible nuclear se somete al mismo tratamiento anterior y solo se diferencia que el desecho que antes era vitrificado se trasmuta por irradiación del mismo pasando a otros tipos de elementos radioactivos con tiempo de vida media más cortos. Aquí se producen dos tipos de desechos uno que es enviado a un almacén final por ser de alta actividad y otro de baja y media

que puede ser almacenado en los repositorios normales que se utilizan para este tipo de desecho.

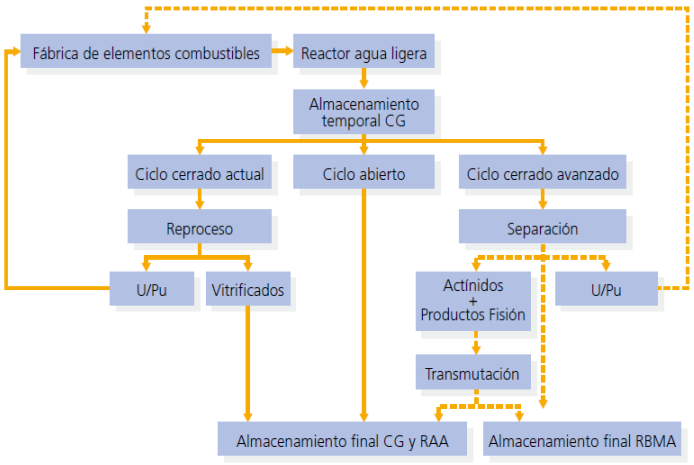


Figura 3.5 - *Opciones de gestión del combustible nuclear gastado. (CG-Combustible gastado; RAA- Residuos de Alta Actividad y RBMA – Residuos de Baja y Media Actividad)*

Hay un amplio consenso entre las organizaciones científicas mundiales que se encargan del estudio del almacenamiento final de estos desechos, de que la disposición de los mismos en capas geológicas es un método aceptable y seguro para el aislamiento permanente del medioambiente. Estos almacenes, conocidos como Repositorios, actualmente se encuentran en construcción en Estados Unidos, Francia, Finlandia y Suecia.

Cualquier país que inicie un programa núcleo eléctrico tiene tiempo suficiente para poder definir la posición que tomará con relación al combustible nuclear gastado, aunque hay algunos suministradores del combustible, por ejemplo Rusia, que puede incorporar en el contrato de suministro la reexportación del combustible nuclear gastado, almacenarlo, reprocesarlo y almacenar los desechos finales de este proceso.

3.6.3. Garantías de seguridad en las principales etapas del ciclo vida de la central nuclear[75]

Las garantías de seguridad en las distintas etapas del ciclo de vida de una central nuclear están reflejadas en la licencia que recibe la entidad explotadora de parte de la Autoridad Reguladora Nuclear, las que tienen relación con el emplazamiento, la construcción, la operación y el desmantelamiento de la central nuclear. En el proceso de licenciamiento la

[75] Elaboración propia en base a la experiencia de la industria nuclear rusa, sus normas y reglamentos.

entidad explotadora (solicitante) presenta a la Autoridad Reguladora Nacional los documentos que argumentan la seguridad nuclear y radiológica de la central nuclear. La documentación presentada por el solicitante se somete a un peritaje técnico. Basándose en los resultados de este peritaje, la Autoridad Reguladora toma la decisión de la emisión o no de la licencia que se solicite. La licencia se emite a la entidad operadora de la central nuclear sólo en caso de una valoración positiva de la seguridad del proyecto. Con ello, la Autoridad Reguladora Nuclear establece las condiciones de vigencia de la licencia que son parte inseparable de la misma.

El ciclo de vida de una central nuclear incluye las siguientes etapas:

- Selección y ubicación del emplazamiento;
- Trabajos de diseño e investigaciones;
- Licenciamiento.
- Construcción y montaje del equipamiento;
- Puesta en marcha e inicio de la operación;
- Operación, incluyendo los servicios de mantenimiento, modernización y reconstrucción;
- Ampliación del tiempo proyectado de operación;
- Desmantelamiento y utilización del lugar.

3.6.3.1. Garantía de seguridad pública respecto al emplazamiento de la central nuclear

Uno de los requerimientos principales durante la evaluación de la posibilidad de construcción de la central nuclear, es la garantía para seguridad pública de su operación, reglamentada por las normas de protección radiológica. El establecimiento de una zona sanitaria alrededor de la central nuclear es una de las actividades que se realiza con el objetivo proteger a la población, el medioambiente de la operación de la central nuclear. Una vez escogido el lugar para la construcción de la central nuclear, la entidad explotadora debe tener en cuenta la posibilidad de la creación de tal zona, dentro de la cual está prohibida la residencia. Una atención especial debe prestarse a la dirección de los vientos en el lugar de construcción, de manera que la central nuclear quede ubicada en el sotavento respecto a las zonas pobladas. Los detalles de la selección del emplazamiento se presentan en el capítulo 6.

3.6.3.2. Garantía de seguridad en la etapa de diseño de la central nuclear

Las bases, las normas y los requerimientos principales de seguridad están elaborados en los marcos del Programa del OIEA para las normas de seguridad. Los principios básicos, con los que debe guiarse la entidad explotadora durante el diseño y la construcción de la central nuclear son:

- Reglas generales para el aseguramiento de la seguridad de las centrales nucleares (Rusia: RGS-88/97);
- Normas para el diseño de las centrales nucleares sismo resistentes (Rusia: NP-031-01);
- Emplazamiento de la central nuclear. Criterios y requerimientos principales de seguridad (Rusia: NP-032-01);
- Cálculo de las influencias externas de origen natural y tecnógeno en los objetos del uso de la energía atómica (Rusia: NP-064-05);
- Reglas de protección contra incendios (Rusia: RSC 01-03);
- Reglas sanitarias para el diseño y la operación de las centrales nucleares (Rusia: RS CA-03).

Para los nuevos proyectos de centrales nucleares se consideran además los siguientes enfoques:

- correspondencia de los requerimientos de las normas y reglas vigentes en el campo del uso de la energía atómica, la disposición de reservas para la garantía de la ejecución de los criterios normativos de seguridad;
- correspondencia con la concepción internacional de los sistemas de seguridad de los reactores con agua a presión;
- combinación de los principios activos y pasivos para el funcionamiento del sistema de seguridad con el uso ampliado de los sistemas de acción pasiva;
- utilización de las propiedades implícitas de autoprotección de la central nuclear;
- alto nivel de automatización del control sobre los sistemas activos de seguridad con el fin de eliminar al máximo una acción inadecuada del personal;

- construcción de sistema de seguridad, teniendo en cuenta las condiciones de los accidentes de proyecto, de impactos severos, y condiciones de accidentes fuera de proyecto.

3.6.3.3. Garantía de seguridad en la etapa de construcción de la central nuclear

En la mayoría de los países la decisión sobre la construcción de instalaciones nucleares la toma el Gobierno. En Rusia esta decisión se toma en correspondencia con la Ley Federal No. 170 "Sobre el Uso de la Energía Atómica" y según lo establecido por la legislación en el uso del suelo, la actividad urbanística, la protección del medioambiente y considerando las comprobaciones realizadas por organizaciones públicas.

En la etapa de licenciamiento para la construcción de la central nuclear se realiza una evaluación general de las soluciones y medidas consideradas en el proyecto con el objetivo de garantizar la seguridad de la central nuclear.

Según "los requerimientos sobre la composición total y el contenido de los documentos que fundamenta la seguridad nuclear y radiológica de la instalación nuclear, fuentes radioactivas, lugares de almacenaje de materiales radioactivos, depósitos de desechos radioactivos y/o actividad declarada (para centrales nucleares)" los documentos a presentar para obtener la licencia para la construcción deben contener:

- Informe preliminar de la fundamentación técnica de la seguridad de la central nuclear.
- Programa general de la garantía de calidad.
- Programas individuales de garantía de calidad por tipo de actividad.
- Documentación de proyecto, informes sobre ensayos y trabajos de investigación y diseño.
- Análisis Probabilísticos de Seguridad (APS).

Los programas de garantía de calidad se elaboran según los requerimientos de la Autoridad Reguladora, recogidos en el documento "Requerimientos al programa de garantía de calidad para las centrales nucleares.

La información en el informe preliminar de la fundamentación técnica de la seguridad de la central nuclear se basa en los materiales del proyecto de la central nuclear, de los proyectos técnicos de la unidad del reactor y de los sistemas importantes para la seguridad misma. Esta información, debe ser suficiente para asegurar una comprensión adecuada del concepto de seguridad en que se basa el proyecto, los programas de la garantía de calidad y los principales criterios de operación, planificados por la entidad explotadora. Basándose en esta información, la Autoridad Reguladora evalúa los fundamentos técnicos de seguridad de la central, de la puesta en operación, de la operación misma y del desmantelamiento de la central nuclear en un emplazamiento en particular para evitar el aumento de la dosis de exposición del personal y de la población y de las normas de la liberación y el contenido de las sustancias radioactivas al medioambiente en operación normal y durante las averías de proyecto, así como la posibilidad de limitar la exposición durante los accidentes fuera de proyecto.

La concepción de la seguridad presentada en el informe antes mencionado, debe satisfacer los requerimientos de los documentos normativos vigentes. En el informe deben reflejarse los aspectos relacionados con el desmantelamiento de la central nuclear.

3.6.3.4. Garantía de seguridad en la etapa de operación de las centrales nucleares

Al igual que la emisión de las licencias anteriores, la licencia de operación de la central nuclear la otorga la Autoridad Reguladora después de evaluados los documentos que presenta la entidad explotadora.

Para obtener la licencia de operación debe ser presentado por la entidad explotadora los documentos de operación y otros documentos referidos a los aspectos de garantía de seguridad en la operación de la central nuclear, incluyendo “El programa de puesta en marcha de la central”, “el programa de puesta en marcha la metodología de ejecución de pruebas” así como “el programa de puesta en marcha energética”.

Para la puesta en operación de la central, la entidad explotadora presenta a la Autoridad Reguladora las actas con los resultados de la puesta en marcha física y energética. La puesta en marcha física y energética del bloque de la central se realiza después de que la Autoridad Reguladora realice una inspección en la central nuclear sobre la disponibilidad real para su puesta en marcha.

El reglamento tecnológico para la operación de la central nuclear es el documento principal. En él se establecen los límites y condiciones de la operación, que se indican en la

etapa de diseño del proyecto y se comprueban en base a los resultados de la instalación antes de la puesta en marcha y de los resultados de la puesta en marcha física y energética. El reglamento tecnológico establece las reglas y métodos de operación de la central y el orden general de las operaciones relacionadas con la seguridad en la central nuclear.

Tabla 3.7 *– Resultados de la evaluación probabilística del estado de la seguridad de los bloques en operación de las centrales nucleares de Rusia según la situación el 01.07.2007*[76]*.*

Bloque de la central nuclear	**Tipo reactor**	**Valor integral del riesgo por un eventual daño severo de la zona activa [1/reactor·año]**
De Balákov-1	VVER	3,62·E-5
De Balákov-2, 3, 4	VVER	8,3·E-5
De Bilíbinsk-1, 2, 3, 4	EGP-6	3,092·E-7
De Kalíninsk-1	VVER	2,43·E-4*
De Kalíninsk-2	VVER	1,242·E-4*
De Kalíninsk-3	VVER	5,53·E-5
De Kolsk-1	VVER	3,09·E-5
De Kolsk-2	VVER	2,52·E-5
De Kolsk-3	VVER	7,96·E-5
De Kolsk-4	VVER	1,28·E-4*
De Kursk-1	RBMK	9,85·E-6
De Kursk-2	RBMK	7,47·E-6
De Kursk-3	RBMK	8,53·E-6

[76] Informe Nacional de la Federación de Rusia sobre el cumplimiento de las obligaciones originada por la Convención de Seguridad Nuclear, Moscú, 2007.

Bloque de la central nuclear	Tipo reactor	Valor integral del riesgo por un eventual daño severo de la zona activa [1/reactor·año]
De Leningrad-1	RBMK	1,12·E-5
De Leningrad-2	RBMK	3,34·E-5
De Leningrad-3	RBMK	2,0·E-4*
De Novovorónezh-3	VVER	3,0·E-5
De Novovorónezh-4	VVER	5,1·E-5
De Novovorónezh-5	VVER	7,8·E-4*
De Smolensk-1	RBMK	1,84·E-4*
De Smolensk-2	RBMK	1,77·E-4*
De Smolensk-3	RBMK	3,83·E-5
De Volgodónsk-1	VVER	7,14·E-5

La entidad explotadora garantiza también el control e inspecciones constantes del estado de equipos por medio de la realización de la investigación técnica de los equipos y las tuberías y del cumplimiento de los programas de control de operación del estado del metal de los equipos y tuberías. Según estos resultados se evalúa el estado de los equipos, y se pronostica la duración de su operación segura.

Anualmente en cada central nuclear en operación se realiza la revisión, por parte de una comisión del aseguramiento de la seguridad nuclear. La información sobre los resultados de la revisión de la actividad de la entidad explotadora en forma de informes se entrega a la Autoridad Reguladora Nuclear.

La modernización y el aumento de la seguridad de las centrales así como, la evaluación profunda de la seguridad permiten obtener la prolongación de las licencias una vez concluido el periodo proyectado de su operación.

Existe un manual de instrucciones para las situaciones de pre-emergencia y de los accidentes de proyecto el cual determina las acciones a seguir por el personal operativo para la recuperación de estado normal de la central nuclear. En estas instrucciones se presentan los sucesos iniciadores y las situaciones de emergencia de los sistemas y equipos así como, las desviaciones de los parámetros reglamentados que conducen o pueden conducir a los accidentes de proyecto. Para cada posible suceso iniciador del accidente, se examinan también las condiciones de su surgimiento y las vías de desarrollo de la avería, que conducen a consecuencias más graves (enfoque conservador).

La prevención de la transformación de los sucesos iniciadores en averías de proyecto, y las averías de proyecto en averías fuera de proyecto, se asegura con el empleo de los sistemas de seguridad. En los nuevos proyectos de las centrales nucleares se introducen sistemas adicionales de seguridad, basados en el principio pasivo de acción, lo que aumenta la fiabilidad de realización de las funciones requeridas de seguridad.

Existe también otro manual, igual de importante que el anterior, para la gestión de las averías fuera de proyecto y la mitigación de sus consecuencias.

Se presta una atención especial a la protección de la barrera hermética de la instalación del reactor contra la destrucción durante los accidentes fuera de proyecto y a su mantenimiento. La principal dirección de las actividades de protección de la barrera hermética durante los accidentes fuera de proyecto es el uso de tales sistemas con recombinadores pasivos autocatalíticos de hidrógeno, lo que evita el surgimiento de cargas de los incendios y explosiones sobre los locales herméticos del bloque de la central en condiciones de una avería severa fuera de proyecto.

3.6.3.5. Garantía de seguridad en la etapa de desmantelamiento de las centrales nucleares[77]

El desmantelamiento, la gestión de los desechos radioactivos que surgen en este proceso, y su eliminación e inmovilización final son partes del ciclo de vida de las instalaciones nucleares y han planteado diversos problemas de ingeniería y técnicos a resolver. En esta etapa se aplican requerimientos de igual rigurosidad que en la operación de la central. El problema de poner término a la actividad industrial de la energía nuclear de una forma medioambientalmente responsable es muy importante y está relacionada con gastos que

[77] V. I. Baranov, V. A. Gashenko, V. A. Nikolaev y otros. Aspectos ecológicos y económicos del desmantelamiento de las centrales nucleares, XI Conferencia Internacional, AN de Rusia. 19-22.06.2000, Sant-Petersburgo.

deben ser considerados con antelación en el proyecto. Una serie de mejoras y modificaciones de proyecto de la infraestructura del ciclo de vida de la central nuclear facilitan hoy día su desmantelamiento.

Para el año 2010 alrededor de la mitad de los bloques de las centrales nucleares del mundo entrarán a la etapa del término de su vida útil. Se calcula que serán desmantelados alrededor de 300 unidades con una potencia eléctrica total de 200 GW. En el territorio de las ex-repúblicas soviéticas esta cifra será de 25 unidades para el 2010. La experiencia obtenida constata que existe un costo significativo en el procedimiento para el desmantelamiento de las unidades de las centrales nucleares (Tabla 3.6). Los gastos específicos en el desmantelamiento de las centrales nucleares constituyen una parte importante de los gastos de esta industria. Los gastos necesarios para el desmantelamiento deben hacerse después de concluir el plazo de funcionamiento de la central, lo que permite que se hagan las reservas necesarias durante el período de su operación.

Tabla 3.8 *- Costo del desmantelamiento de las centrales nucleares en diferentes países*[78].

País	Tipo	Potencia [MW]	Opción 1 (desmontaje inmediato)		Opción 2 (desmontaje después de conservación bajo vigilancia)	
			Costo (Mill $)	Costo especifico ($/KW)	Costo (Mill $)	Costos especifico [$/KW]
Bélgica	PWR	900 – 1.390	736 – 394	271 – 438	464	516
Finlandia	VVER, BWR	735 – 1.300	178 -222	171 – 178	101 – 266	137 – 205
Francia	PWR	1.400	492	351	-	-
Alemania	PWR, BWR	70 – 1.300	320 – 628	266 – 5.029	301 – 622	239 – 1.414

[78] Ídem 76.

Suecia	PWR, BWR	465 – 1.300	127 – 322	167 – 269	-	-
Reino Unido	GCR, PWR	60 – 1.400	517	488	229-694	997 – 3.817
EE.UU.	PWR, BWR	849 – 1.300	145 – 228	112 – 236	164 – 280	140 – 216
Eslovaquia	VVER, GCR	440	52 – 181	118 – 421	151 – 187	351 – 435
Canadá	PHWR	542 – 1.300	68 – 185	125 – 196	55 -228	101 – 380
Japón	PWR, HWR	1.100 – 1.350	349	259	326 – 339	281 – 308
Rusia	VVER. RBMK, FBR	440 – 1.000	-	-	255 - 545	230 – 545
Valor medio				**475**		**645**

3.7. Plan de emergencia nuclear[79]

De acuerdo con la experiencia internacional y las regulaciones establecidas por la Autoridad Reguladora Nuclear, las centrales nucleares como parte del proceso de licenciamiento, (en particular la licencia de operación) deben presentar un plan de emergencia cuyos objetivos generales son:

a) Reducir el riesgo o mitigar las consecuencias de los accidentes en su origen.

b) Evitar o, al menos, reducir en lo posible los efectos adversos de las radiaciones ionizantes sobre la población y los bienes.

El primer objetivo es responsabilidad del titular de la central nuclear, mientras que el segundo es responsabilidad conjunta del titular y de las entidades y organismos públicos que tienen competencias y funciones de protección a la población frente a los riesgos nucleares y radiológicos.

[79] Tomando del Reglamento para la elaboración del Plan de Emergencias de la Consejo de Seguridad Nuclear de España (Autoridad Reguladora Nuclear). http://www.csn.es.

Para conformar este plan se establecen dos zonas, que son aquellas áreas geográficas en el entorno de la central nuclear sobre las que han de incidir las medidas de protección a la población y a sus bienes (Figura 3.6). Vienen determinadas por su distancia a la Instalación, en base a los efectos radiológicos esperados en ellas a consecuencia del espectro de accidentes posibles evaluados por la entidad explotadora y la Autoridad Reguladora Nuclear y que deben estar recogidos dentro de la fundamentación técnica de seguridad de la instalación que debe presentarse para la obtención de las licencias.

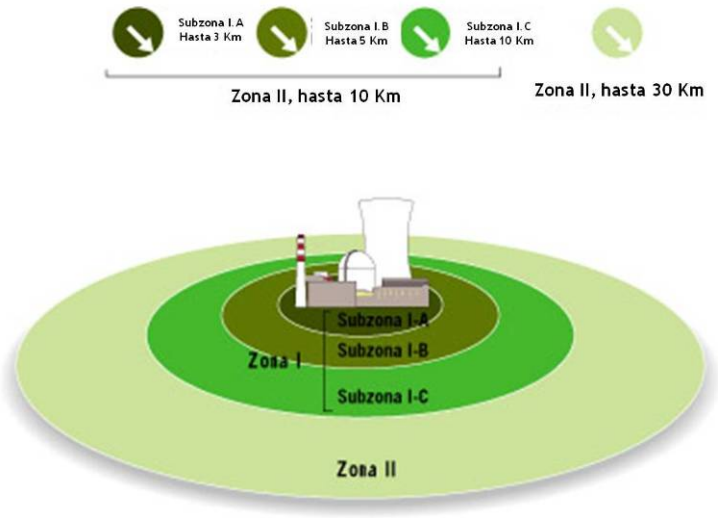


Figura 3.6 *– Representación esquemática de las zonas consideradas dentro de los planes de emergencia nuclear de una central nuclear.*

Las zonas que se consideran para la elaboración de este plan de emergencia son:

- **Zona 0 o zona bajo control del explotador**: es el área en la que se ubica la central y los terrenos que la circundan de los que el titular puede disponer libremente por razones de propiedad o de acuerdo con sus propietarios. Las dimensiones de esta zona se establecen en las condiciones de licenciamiento de cada central nuclear y están directamente relacionadas con los resultados del análisis de accidentes incluido en su Estudio de Seguridad. Las medidas de protección y otras actuaciones

de emergencia que deben adoptarse en esta zona, están especificadas en el Plan de Emergencia Interior.

- **La Zona I o zona de medidas de protección urgentes**, es el círculo de 10 Km de radio, concéntrico con la central nuclear, que incluye a la Zona 0. Esta zona se corresponde con el área geográfica en la que las vías principales de exposición están asociadas al paso de la nube radiactiva, que lleva consigo la exposición directa a la radiación procedente de la contaminación de la atmósfera y del suelo, y la contaminación interna por inhalación del material radiactivo emitido durante el accidente. En esta zona deberán planificarse medidas de protección urgentes destinadas a reducir el riesgo de aparición de efectos deterministas entre la población. Además, en esta zona se deberá planificar, también, la aplicación de medidas de protección para reducir las dosis a largo plazo provenientes de las sustancias radiactivas depositadas y de la ingestión de alimentos y agua contaminados. Esta zona se divide en tres en tres subzonas, IA, IB y IC, atendiendo al nivel de riesgo esperable en cada una de ellas:

    - **Subzona IA**: comprende el círculo de 3 Km. de radio, concéntrico con la central nuclear.

    - **Subzona IB**: es la corona circular comprendida entre las circunferencias de radios de 3 y 5 Km.

    - **Subzona IC**: es la corona circular comprendida entre las circunferencias de radios de 5 y 10 Km.

- **Zona II o zona de medidas de larga duración**, corona circular comprendida entre las circunferencias de radios de 10 y 30 Km concéntricas con la central nuclear hasta un radio de 30 Km.

Para cada una de estas zonas y subzonas se establecen las medias necesarias de acuerdo con el tipo de accidente ocurrido con el objetivo de mitigar las consecuencias del mismo. Asimismo, los planes cuenta con una seria de medidas de protección como por ejemplo: la toma de pastillas de yodo natural previene la retención de yodo radiactivo que pudiera escapar en caso de accidente, el control de alimentos y bebidas previene contra la ingestión de radiactividad, al evitar la ingestión de productos que pudieran haber resultados contaminados; entre otras.

Un aspecto fundamental para un efectivo funcionamiento de cualquier plan de emergencia es la información a la población, que se realiza en dos vertientes:

- Información previa: dirigida a grupos de población que pueda verse afectada, se les informa sobre los posibles riesgos, planes de actuación, medidas de emergencia prevista y comportamiento a seguir por la población para garantizar una correcta aplicación de dichas medidas.

- Información en caso de emergencia radiológica: dirigida a la población afectada ante una emergencia nuclear o radiológica producida durante un accidente. Es emitida por las autoridades competentes y su objetivo es informar sobre las medidas de protección especificas adoptadas y establecer como debe actuar la población para aplicar eficazmente esas medidas.

A fin de comprobar el correcto funcionamiento de los dispositivos que se utilizarían en situaciones de emergencia y para mantener el entrenamiento del personal que tendría que intervenir en las mismas, se realizan simulacros de emergencia que tienen, como mínimo, carácter anual.

La realización de estos simulacros se basa en el establecimiento de un hipotético acontecimiento anómalo (suceso iniciador), que evoluciona desfavorablemente al ir concurriendo una serie de fallos concatenados, de forma que la situación evolucionaría hasta la emergencia.

Durante estos simulacros se activan las comunicaciones y se constituyen los grupos de emergencia, lo que permite comprobar la capacidad de respuesta de las distintas organizaciones participantes, la agilidad de las comunicaciones, los sistemas de transmisión de datos, métodos de cálculo, etc.

Conclusiones

El impacto y el riesgo que representa la energía nuclear dependen directamente del conocimiento científico que permite conocer y manejar adecuadamente los procesos naturales de la materia al nivel del átomo. Así, después de décadas de experiencia, hoy la seguridad nuclear está desarrollada a un alto nivel, incluso más alto que otros sistemas similares de la industria. En el proceso se involucran, entre otros, de manera simultánea e integrada las instalaciones nucleares, la industria, los centros de investigación, los organismos reguladores, expertos en todo tipo de disciplinas, los gobiernos de cada país y las organizaciones internacionales.

Este tratamiento conjunto ofrece una solidez y un desarrollo compensado de carácter singular que se hace patente en el alto nivel de excelencia alcanzado por las medidas de seguridad existentes en las centrales nucleares.

Existe una base legislativa y de regulación eficaz, que reglamenta los aspectos relacionados con el aseguramiento y la regulación de seguridad de las unidades de las centrales nucleares. Los cambios de su evolución están dirigidos al perfeccionamiento de las normas vigentes y al desarrollo ulterior de la energía nuclear.

Existe un órgano estatal independiente encargado de controlar y regular la actividad nuclear de un país, a la cual se le denomina Autoridad Reguladora Nuclear. Esta organización está provista de los recursos humanos, financieros y técnicos que le permiten cumplir las funciones asignadas conservando la independencia.

El principio de que toda la responsabilidad por la seguridad de la central nuclear recae sobre la entidad explotadora está establecido legalmente, determinándose así las exigencias normativas y es un principio organizativo importante del aseguramiento de la seguridad.

La prevención de las acciones incorrectas del personal, la fijación de las imperfecciones en la preparación del personal, el mantenimiento de un alto nivel de la preparación profesional es muy importante en el sistema de medidas para el aumento de la seguridad en las centrales nucleares. El orden y los requerimientos, según los cuales se organiza el control sobre el nivel de calificación del personal administrativo, operativo y otro de la central nuclear se establece a nivel estatal.

La protección del personal de la central nuclear, de la población y del medioambiente contra la radiación durante la operación de la central nuclear garantiza que la dosis de

exposición del personal se encuentra en un nivel bajo y no supera los valores normativos establecidas. La influencia radioactiva de las centrales nucleares en la población y el medioambiente (con la operación normal de la central nuclear) a consecuencia de la liberación de gases de aerosol y descargas liquidas crea un riesgo radiológico complementario, que es admisible (menos 10^{-6} por año).

Por otro lado, en caso de ocurrencia de un accidente durante la operación de la central, se dispone de un Plan de Emergencia Nuclear con el objetivo de garantizar el menor impacto posible sobre la población y el medioambiente en las áreas correspondientes.

Las evaluaciones del estado de la seguridad e inspecciones sistemáticas complejas e inspecciones ad hoc, dirigidos a evitar las infracciones y al aumento posterior de la seguridad de las centrales nucleares, están en correspondencia con los requerimientos de la Convención de Seguridad Nuclear.

Bibliografía

3.1.- E. O. Adamov, Proyectos innovadores de los reactores nucleares – ¿Capricho de científicos o un imperativo estratégico?, Sitio oficial NIKIET de N. A. Dollezhal (www.nikiet.ru).

3.2.- Informe Nacional de la Federación de Rusia sobre el cumplimiento de las obligaciones originada por la Convención de Seguridad Nuclear, Moscú, 2007.

3.3.- Rizhov S. B., Mojov, V. A., Shekin I. G., Krizhanovskiy V. I. Los análisis de seguridad para la Central Nuclear-2006, Seminario de la AER y EDF, Moscú, Mayo, 2008.

3.4.- Eficiencia de la tecnología de la energética nuclear: criterios sistémicos de la dirección de desarrollo /V. I. Rachkov y otros, M.: FGUN TsNIIATOMINFORM, 2008.

3.5.- V. I. Baranov, V. A. Gashenko, V. A. Nikolaev y otros. Aspectos ecológicos y económicos del desmantelamiento de las centrales nucleares, XI Conferencia Internacional, AN de Rusia. 19-22.06.2000, Sant-Petersburgo.

3.6.- Seguridad Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española, Foro Nuclear, Julio 2008.

3.7.- Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants (75-INSAG-3 Rev. 1), A Report by International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG-12), IAEA, Vienna, 1999.

3.8.- Safety Culture (75-INSAG-4), A Report by the International Nuclear Safety Advisory Group, IAEA, Vienna, 1991.

Capítulo 4

Combustible nuclear

4.1. Características generales

El ciclo del combustible nuclear es el conjunto de medios de extracción y producción del mineral para los reactores nucleares, su preparación para la operación y su utilización en la zona activa del rector y finalmente su almacenamiento definitivo después de extraído (combustible gastado). El combustible nuclear gastado o irradiado (CNG), después de pasar por un proceso de reciclaje especial, puede ser nuevamente utilizado. La duración del ciclo del combustible nuclear, incluyendo su almacenamiento definitivo, es de 50 a 100 años.

Este ciclo puede dividirse en tres etapas: las operaciones iniciales, que abarcan desde la extracción del mineral hasta el suministro de los elementos combustibles a la central nuclear; después está la etapa de explotación del combustible en el reactor para generar electricidad y la última etapa, es aquella que considera todos los procedimientos post-operación, que incluyen el almacenaje provisional del combustible gastado en el emplazamiento de la central para disminuir su radioactividad, el reprocesamiento del combustible gastado para proceder a su reutilización o reciclaje (si es ciclo cerrado), la vitrificación del residuo final de alta radioactividad y el almacenamiento de este en depósitos especiales.

En la mayoría de los países se utiliza el **Ciclo Abierto** de combustible, que se caracteriza porque no incluye la fase de reciclaje una vez utilizado, sino que los desechos se almacenan en depósitos especiales de lenta degradación. El **Ciclo Cerrado**, junto con el retorno del combustible gastado a las plantas de reprocesamiento, para proceder en ella la extracción del uranio que constituye más de 95% del peso inicial del mineral, se deriva posteriormente por las mismas fases de tratamiento que el material extraído de las minas, hasta ser enviado nuevamente a la central como combustible nuclear.

Aquella porción final que no puede ser reprocesada, y que tiene una alta radio-actividad y de muy lenta degradación (sobre 1.000 años) corresponde aproximadamente a un 3% del uranio que había en el combustible nuclear fresco. Esta porción se vitrifica y se almacenan en depósitos especiales.

Los casetes o cartridge de combustible están constituidos por un elemento principal que consiste en un haz de barras de acero inoxidable o de circonio. Dentro de éstas se colocan

las pastillas de dióxido de uranio, con un enriquecimiento de U^{235} hasta un 5%. Las barras hermetizadas y provistas de pastillas de combustible se llaman elementos combustibles. Para igualar los juegos entre las piezas de combustibles y fijar los conjuntos combustibles es necesaria una construcción rígida, ensamblaje que tiene una serie de partes: cola, cabeza y rejilla distanciadora, en algunos casos, y tubo de tapa. La cantidad de conjuntos combustibles depende del tipo de reactor.

El uranio natural posee una baja actividad, 25 Bq[80] por mg. El contenido de U^{235} en el uranio natural es de un 0,7%. Para que el mineral de uranio se convierta en combustible debe pasar por una serie de transformaciones: primero, se muele en máquinas trituradoras, después se someten al contacto con ácidos y la sal concentrada de uranio es separada de la solución por medio de un proceso de intercambio iónico. El resultado de esta operación es el protóxido-óxido de uranio. Después, éste pasa por un proceso cuyo resultado es el hexafluóruro de uranio, que es tratado en máquinas centrífugas con el fin de aumentar la cantidad del isótopo fisionable de U^{235}. Después de este proceso de enriquecimiento, al hexafluóruro de uranio se convierte en un concentrado de dióxido de uranio, que corresponde al material final para las pastillas de combustibles (ver Figura 4.1), también llamado “torta amarilla” (yellow cake).

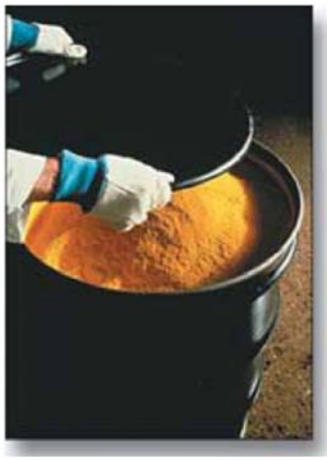


***Figura 4.1** – Material final para las pastillas de combustible nuclear (Torta Amarilla).*

[80] El becquerel o becquerelio1 (símbolo Bq) es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la actividad radiactiva. Equivale a una desintegración nuclear por segundo. Toma su nombre en honor del físico francés Henri Becquerel. Por otra parte, 3,7·1010 Bq equivalen a 1 Curie.

En Rusia funcionan cuatro centros de enriquecimiento de uranio, basados en tecnología de difusión y centrifugación gaseosa. El combustible nuclear se traslada desde la fábrica hasta la central utilizando medios de transporte especializados y seguros: puede ser por vía aérea, marítima o terrestre. Para ello, son colocados en contendores metálicos altamente resistentes y especialmente certificados para el traslado de materiales nucleares. La logística considera, básicamente, una ruta especial elegida con antelación y un régimen de alto nivel de vigilancia.

Hasta la fecha y durante toda la historia del traslado de combustible nuclear no se han reportado accidentes que hayan provocado un impacto negativo de importancia en el medioambiente o las personas.

Existen 21 productores de concentrado de uranio o *yellow cake*. La mayor parte del concentrado de uranio la suministran Canadá, Namibia, Níger y Sudáfrica.

Tabla 4.1 *– Producción de uranio por países (ton.).*[81]

País	2000	2001	2002	Cambios años 2001-2002 [%]
Australia	7.609	7.756	6.888	-12
Brasil	50	58	270	365
Canadá	10.590	12.520	11.604	-8
China	500	655	730	12
República Checa	507	456	465	2
Francia	320	195	20	-85
Alemania	28	27	212	685
Hungría	10	0	0	0
India	200	230	230	0
Kazakstán	1.740	2.050	2.800	36

[81] Uranium 2001: Resources, Production and Demand, OECD, IAEA, August 2002.

País	2000	2001	2002	Cambios años 2001-2002 [%]
Namibia	2.714	2.239	2.333	4
Níger	2.900	2.920	3.075	5
Pakistán	23	46	38	-17
Portugal	10	3	2	-33
Rumania	50	85	90	6
Rusia	2.500	2.500	2.900	16
Sudáfrica	878	873	824	-6
España	251	30	37	23
Ucrania	500	750	8.00	7
EE.UU.	1.456	1.011	919	-9
Uzbekistán	2.350	1.962	1.860	-5
Total:	35.186	36.366	36.097	-1

Tabla 4.2 *– Producción de uranio por empresas.*[82]

Empresa	País	Empresa explotadora	Método de explotación del yacimiento	Nivel de producción en 2000 [t U]	Producción mundial [%]
Mc Arthur-River/ Key Lake	Canadá	Cameco	Abierto	4.141	11,9
Olympic-Dam	Australia	WMC	Subterráneo	3.816	11,0

[82] Idem 80.

Empresa	País	Empresa explotadora	Método de explotación del yacimiento	Nivel de producción en 2000 [t U]	Producción mundial [%]
Ranger	Australia	(RioTinto - 68%)	Abierto	3.762	10,8
Rabbit-Lake	Canadá	Cameco	Subterráneo	2.790	8,0
Rossing	Namibia	RioTinto (69%)	Abierto	2.714	7,8
Mc Clean-Lake	Canadá	Cogema	Abierto	2.308	6,6
Acouta	Níger	Cogema/ ONAREM	Subterráneo	1.917	5,5
Cluff-Lake	Canadá	Cogema	Abierto / subterráneo	1.443	4,2
Arly	Níger	Cogema/ONAREM	Abierto	978	2,8
Vaal-Riffs	Sudáfrica	AngloAmerican	Subterráneo	711	2,0
Total				24.580	70,7

Tabla 4.3 *– Empresas enriquecedoras de uranio (miles de ton).*[83]

Proveedor, país	Capacidad nominal	Nivel de producción	Capacidad real		
			2000	2005	2010
BNFL, Gran Bretaña	5	5	5	4	-
Cameco, Canadá	10	7,5	10	10	10
Comurhex, Francia	14	11	12	12	12
TVEL, Rusia	22	10	10	10	10
ConverDyn, EE.UU.	13	7,3	9,3	12	12

[83] Uranium 2001: Resources, Production and Demand, OECD, IAEA, August 2002.

Total	62	43	46	48	44

La capacidad total de las plantas de enriquecimiento de uranio supera los 50 millones de Kg de UTD/año.

Tabla 4.4 - *Capacidades de las plantas de difusión de gas (DG) y de centrífugas (C) para el enriquecimiento de uranio, (millones de kg de UTD/año).*

País	**Empresa**	**Tecnología y cantidad de plantas**	**2005**
EE.UU.	USEC	DG – 2	19
Francia	Eurodif	DG – 1	11
Gran Bretaña	Urenco	C – 1	2,1
Alemania	Urenco	C – 1	1,8
Países Bajos	Urenco	C – 1	1,5
Japón	JNFL	C – 1	1,05
Brasil	IPEN	C – 1	0,1
China	CNEIC	DG – 1	0,6
China	CNEIC	C – 1	1,5
Rusia	TVEL	C – 4	14
Total			53

La planta en Argentina (0,02 millones de kg de UTD/año) fue clausurada en 1994. La de Sudáfrica (0,3 millones de kg de UTD/año) en 1995.

4.2. El combustible nuclear[84, 85]

Dependiendo del tipo del combustible nuclear y las condiciones particulares de su uso, los ciclos pueden variar, pero al final siempre tienen el mismo esquema conceptual.

La fase inicial del ciclo es la extracción del mineral es decir, el trabajo que se realiza en la mina para obtener el recurso. La corteza terrestre contiene 75.10^{-6} de uranio, que es 1.000 veces más que el oro y 30 veces más que la plata. Los minerales de uranio se diferencian por la diversidad singular de su contenido. En la mayoría de los casos el uranio se presenta en formaciones inorgánicas. Puede obtenerse en excavaciones a tajo abierto o en minas subterráneas, con métodos similares a la minería tradicional. Los métodos progresivos de lixiviación permiten evitar la afloración del mineral y, asimismo, se puede extraer el uranio en su yacimiento.

El mineral extraído proveniente de la mina, contiene los componentes metálicos y la ganga (residuo). Durante su procesamiento los minerales útiles se separan de la ganga con la formación de la torta amarilla (yellow cake). Esto se produce por medio de la molienda del mineral original y la lixiviación del uranio.

Durante las etapas de procesamiento de los minerales se extrae el uranio de las mezclas. Las tortas amarillas contienen entre un 60-96% de óxido de uranio. La fase siguiente del ciclo es la refinación, que finaliza la purificación del uranio de las mezclas y de aquellos elementos que poseen una gran sección de captura de neutrones (Hafnio, Boro, Cadmio, etc.).

4.2.1 El Uranio enriquecido

El uranio enriquecido es la materia prima utilizada para la fabricación del combustible de los reactores nucleares. Éste se utiliza en los reactores en forma de metales, con aleaciones de óxido de carburos, nitritos y otras composiciones, a los que se da forma de pastilla. La utilización del combustible en el reactor se basa precisamente en estas tabletas o pastillas. Para ser usadas en un reactor se ubican en el interior de una barra la que unida a otras barras similares constituyen el casete o cartridge.

---

[84] Elaboración propia en base a información suministrada por el Consorcio Rosatom y TVEL de la Federación de Rusia.

[85] Ciclo de combustible nuclear en 2001-2002, Ministerio de Energía Atómica de la Federación de Rusia, 2002.

Imagen 4.1 *– Planta de enriquecimiento de uranio de Tricastin, Francia. Esta planta garantiza las necesidades de de uranio enriquecido para las centrales nucleares francesas.*

La industria nuclear, con sus actuales reactores, se basa en combustible uranio "enriquecido a un bajo nivel" (5%) y los reactores de neutrones rápidos que utilizan uranio enriquecido con alto nivel de U^{235} (hasta 93%). Antes de preparar el combustible, el uranio natural, que contiene tan sólo 0.72% de U^{235} debe ser enriquecido, o sea, separar los isótopos de U^{235} y U^{238}. El método principal para enriquecer el uranio es el de difusión gaseosa. También existe el método de centrifugado, mediante el uso de centrífugas de alta velocidad.

Las empresas productoras de combustible nuclear, en sus procesos industriales consideran las siguientes etapas de preparación:

- Producción de hexafluoruro a partir del polvo de dióxido de uranio.
- Producción de las pastillas.
- Construcción de las barras que contienen las pastillas (elementos combustibles).
- Colocación de las barras o elementos combustibles dentro del casete.
- Sellado y acondicionamiento del casete para su introducción a la zona activa del reactor.

El producto comercial final en esta fase del ciclo es el combustible nuclear listo para ser introducido en el reactor.

4.2.2. El combustible en la central nuclear

El reactor nuclear, es un dispositivo donde se produce la reacción de fisión en cadena controlada con la consiguiente liberación energía en forma de calor. Está compuesto básicamente en una zona activa y el reflector. En la zona activa están colocados los casetes que contiene el combustible y además está el moderador donde se frenan los neutrones provenientes de la fisión hasta alcanzar la energía necesaria para ocasionar fisiones sucesivas con nuevos átomos de uranio. El reflector es el volumen de agua que se encuentra entre la zona activa y la vasija del reactor.

El refrigerante absorbe el calor de la reacción nuclear en la zona activa, se mueve por el circuito de refrigeración pasando por el intercambiador de calor donde entrega el calor al refrigerante del circuito externo sin entrar en contacto con él a través del generador de vapor.

4.2.3. Desechos radioactivos

Muchos de los procedimientos de la industria nuclear que se aplican hoy fueron replicados en otras industrias productoras de desechos que contaminan el medioambiente. En comparación con los desechos habituales, el volumen total mundial de los desechos radioactivos es esencialmente pequeño. Por ejemplo, del reactor PWR–1000 (1.000 MW) anualmente descarga 23 toneladas de combustible gastado, que contiene solamente 40 Kg de productos de fisión, o sea 920 Kg al año. Anualmente se acumulan más de 300 toneladas de combustible gastado en el mundo.

En esta etapa los casetes del reactor contienen aún elementos combustibles con isótopos de alto nivel de radioactividad. Estos son colocados en piscinas de enfriamiento entre 3 a 9 años (ver imagen 4.2), tiempo requerido para que se desintegren los nuclídos de vida corta. Después, la actividad del combustible gastado se debe a los productos de fisión (PF) con un período largo de vida promedio (Estroncio-90, Criptón-85, Tecnecio-99, Cesio-137). Posteriormente quedan los actínidos transuránicos, que tienen períodos de vida promedio de más de mil años: Neptunio, Plutonio, Americio, Curio.

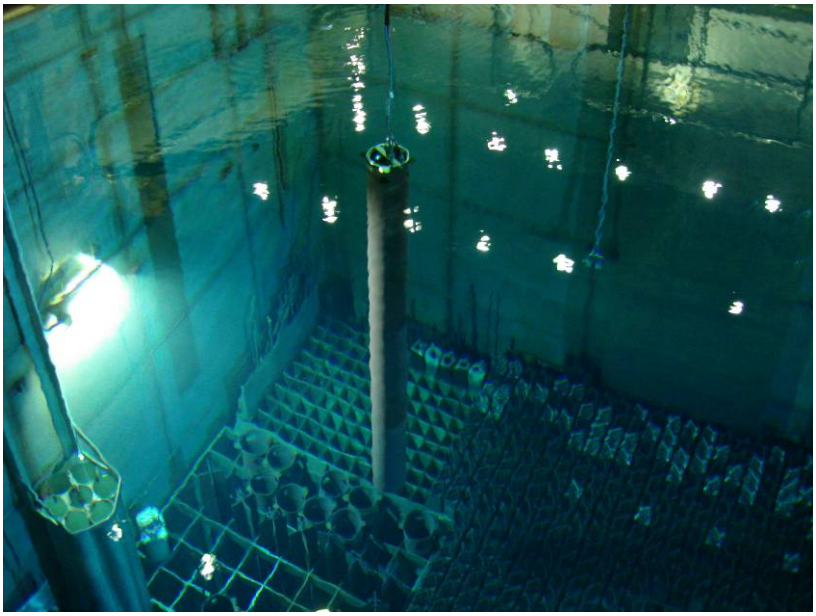


Imagen 4.2 *– Piscina típica para el almacenamiento del combustible nuclear gastado.*

Durante el tiempo de almacenamiento, la actividad de los elementos combustibles disminuye progresivamente hasta el punto en que puede ser manipulado de manera segura. Después del almacenamiento en la piscina, el combustible gastado o bien se almacena en la central nuclear, en una piscina o en almacenamiento en seco (ver imagen 4.3), hasta su evacuación definitiva (ciclo abierto) o se traslada a la planta de reprocesamiento (ciclo cerrado) para extraer el plutonio y el resto de uranio. Para esto, se utiliza tecnología de solución acuosa y como resultado los residuos radioactivos se hacen líquidos. En este punto la radioactividad de los desechos ha disminuido seis veces en comparación con la que se presentaba al inicio del proceso, habiéndose vuelto significativamente pequeña.

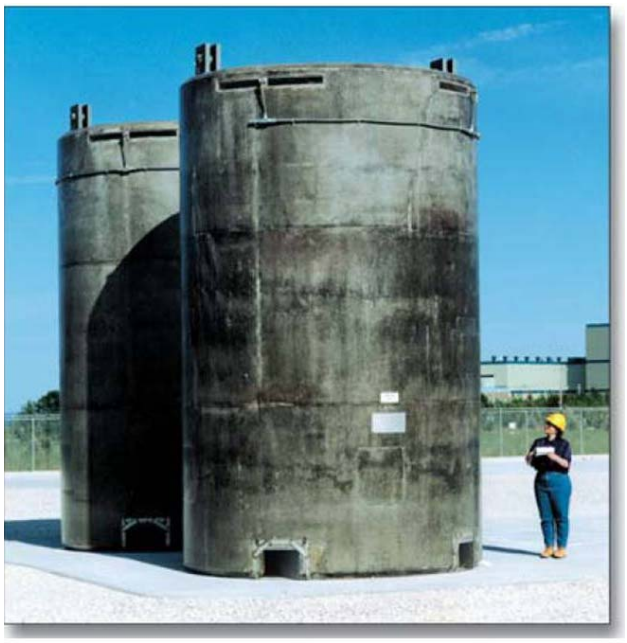


Imagen 4.3 *– Almacenamiento en seco del combustible nuclear gastado. Nótese que no es necesario ropa especial para estar en las cercanías del contendor.*

4.2.3.1. Clasificación de los desechos radioactivos

Los desechos radioactivos se clasifican según su actividad en 3 categorías:

- **Categoría A:** Son los desechos de baja actividad que se producen en todas las etapas del ciclo del combustible nuclear. Contienen pequeñas cantidades de elementos de muy baja radioactividad y de corta vida media (no más de unas pocas décadas). Representan el 90% del volumen total de residuos generados a lo largo de toda la vida útil de una central nuclear, pero contienen solo alrededor del 1% del total de la radioactividad. Se producen especialmente durante el mantenimiento de la central (herramientas, ropa protectora o filtros irradiados) y durante el desmantelamiento, categoría en la que caen la mayoría de las partes de una central nuclear, luego del fin de su vida útil.

- **Categoría B**: Son sustancias de baja o media a radioactividad y de mayor vida media (hasta mil años). Se producen durante el reprocesamiento del combustible y la operación del reactor. Un pequeño porcentaje se produce durante el desmantelamiento de las centrales nucleares.

- **Categoría C**: Los desechos de alta actividad contienen material altamente radioactivo y de vida media más larga (sobre mil años). Están constituidos esencialmente por el combustible luego de su uso.

Los desechos radioactivos del primer tipo (provenientes de filtros, detalles de sistemas de refrigeración o del primer circuito) no tienen radioactividad propia sino inducida, la cual se igualará con el índice natural del medioambiente (fondo natural) dentro de 30 años. Durante este tiempo requiere de control.

Los desechos de tipo B y C se forman durante la generación de electricidad en la central nuclear. El combustible gastado de mayor peligrosidad –Categoría C- contiene 95% de uranio y 3.5% de productos de fisión. Además, el U^{238}, que forma parte del elemento combustible, se convierte en plutonio (1%) u otro elemento transuránico.

Los residuos finales se colocan en contenedores metálicos, que después se empotran en hormigón. El volumen de estos desechos se puede disminuir 4 veces con el moldeado a alta presión. No es aconsejable su almacenaje en la superficie terrestre. La mejor solución consiste en depositarlos bajo tierra para protegerlos adecuadamente de la influencia externa natural y la que pudiera ser ocasionada por la acción de terceros.

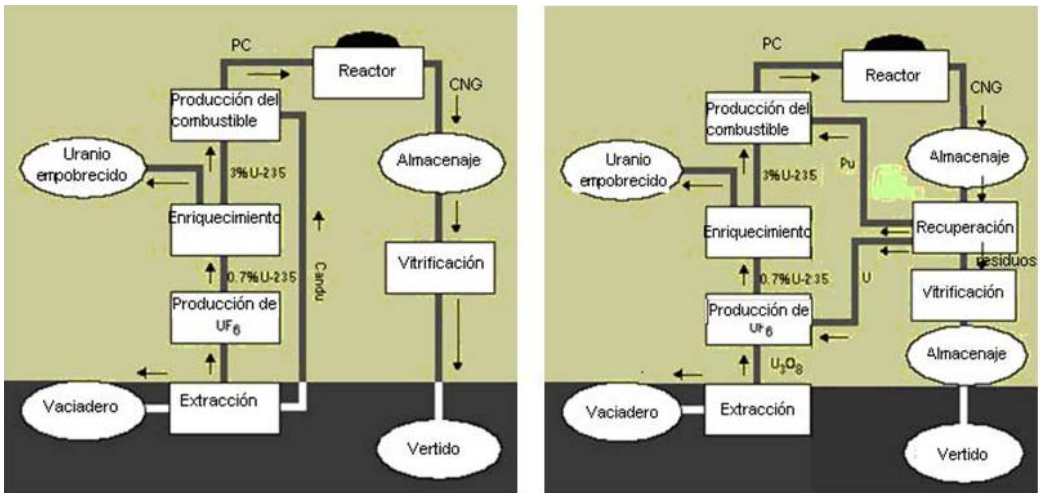
4.2.4. Ciclo abierto y ciclo cerrado

Actualmente Francia, Alemania, Gran Bretaña, Rusia y Japón han implementado el ciclo cerrado de combustible y en Europa, más de 35 reactores son capaces de utilizar parcialmente combustible MOX (20-50%), que contiene hasta 7% del plutonio, apropiado para los reactores.

En general, los ciclos abierto y cerrado del combustible cumplen con etapas similares. La diferencia se presenta al momento de disponer del material ya utilizado. En ciclo abierto el combustible gastado se considera en su totalidad como desecho.

En el ciclo cerrado, los elementos combustibles ya utilizados son extraídos del casete para ser tratados en las plantas del reprocesamiento que existen fuera de la central nuclear, donde son molidos y fundidos en ácido. Este proceso separa el plutonio y el uranio no utilizado. De ese volumen, después de 3 a 9 años, solo un 3% del combustible constituye desecho de alto nivel de radioactividad, el cual es tratado mediante el sistema de bituminación o vitrificación, para posteriormente ser almacenado en depósitos especialmente diseñados para tales efectos. El resto de este material es reciclado: se

devuelve al productor, donde se repite el proceso completo de producción para obtener nuevamente el *yellow cake* para una nueva carga del reactor.



(a) (b)

Figura 4.2 *– Ciclo abierto del combustible nuclear (a) y Ciclo cerrado del combustible nuclear (b)*

4.3. Industria internacional del Uranio

Las empresas encargadas de la producción de uranio enriquecido y del reprocesamiento del combustible nuclear gastado corresponden a aquellos países que tienen una industria nuclear desarrollada, tales como Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña y Rusia. Las más conocidas de estas compañías son TVEL (Rusia), AREVA (Francia), el grupo americano-británico BNFL y la corporación americano-japonesa GNF.

Tabla 4.5 *- Empresas exportadoras de uranio.*[86]

Empresa	Millones de Kg UTD	%

[86] Uranium 2001: Resources, Production and Demand, OECD, IAEA, August 2002.

USEC	6,0	16
Eurodif/Cogema	7,1	19
Urenco	3,9	10
Tenex	6,6	18
Otras empresas y venta por contratos	1,9	5
Necesidades, no suministradas por contratos	11.8	32
Total	37,3	100

***Tabla 4.6** – Capacidad de producción de combustible, miles de t.*[87]

Reactores PWR		**Reactores CANDU**	
Bélgica	500	Argentina	160
Brasil	100	Canadá	2.700
China	100	India	300
Francia	1.100	Corea del Sur	400
Alemania	650	Rumania	150
India	30	Total.	3.710
Japón	1.689		
Pakistán	24	**Reactores RBMK**	
Rusia	2.300	Rusia	900
Corea del Sur	550		
España	300	**Reactores AGR**	

[87] Ídem 85 y elaboración propia de Rosatom y TVEL (http://www.tvel.ru/en/corporation/).

Suecia	400	Gran Bretaña	290
Gran Bretaña	330		
EE.UU.	3.900	**Reactores MAGNOX**	
TOTAL	11.973	Gran Bretaña	1.300
Capacidad total (todos los tipos de reactores)			18.173

La Corporación TVEL es un productor ruso que provee combustible nuclear a Rusia y a 76 centrales nucleares de diferentes países, lo cual corresponde al 17% del mercado mundial, incluidos Ucrania, Armenia, Lituania, Bulgaria, Hungría, Eslovaquia, República Checa, Finlandia y Francia. TVEL entrega también servicios de diseño, producción, licenciamiento y mantenimiento científico-técnico de sistemas de manejo de los desechos nucleares. Además, en el contexto de un acuerdo de cooperación con la compañía francesa Framatome, TVEL suministra combustible nuclear a reactores de Alemania, Suiza y Holanda.

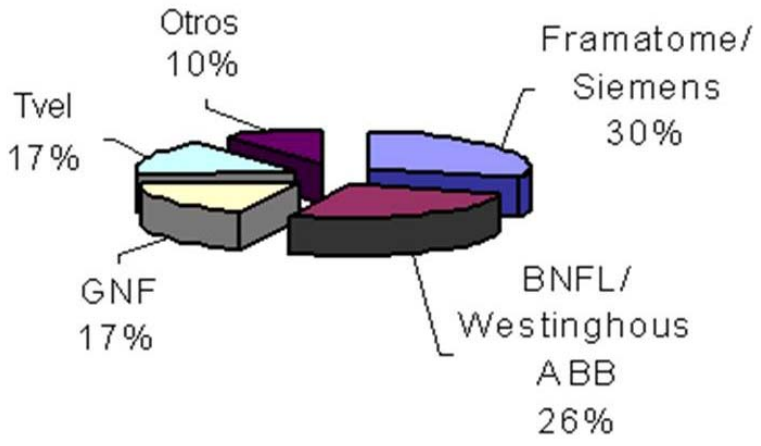


Figura 4.3 *– Productores de combustible para Centrales Nucleares.*

La compañía Framatome es el principal proveedor de combustible para reactores tipo PWR de Francia, Bélgica, Alemania, Suecia, Sudáfrica y la República Corea.

La compañía estadounidense Westinghouse Atom, además de suministrar el combustible a Estados Unidos, suministra el 60% del combustible utilizado por los reactores PWR de Suiza y

una cantidad limitada a otros países de Europa. En España el proveedor principal de combustible es la compañía ENUSA.

La mayor parte de las corporaciones que actúan hoy en el mercado del combustible nuclear están controladas por los respectivos gobiernos, en algunos casos directamente, como lo es BNFL de Gran Bretaña, ENUSA de España y TVEL de Rusia; y en otros indirectamente, a través del control accionario por parte de alguna empresa estatal, como es el caso de Framatome, cuyas las acciones pertenecen por una parte al gobierno de Francia y, por otra, a compañías como Cogema, Electricite de France y CEA-Industries.

La capacidad mundial total para el reprocesamiento de combustible nuclear gastado alcanza 5 mil toneladas al año. De éstas, más de la mitad se encuentra en Gran Bretaña y Francia, donde se realiza el reprocesamiento del combustible nuclear gastado según contratos con compañías energéticas de diversos países.

El costo del servicio de reprocesamiento del combustible nuclear gastado, realizado por Francia (Cogema), Gran Bretaña (BNFL) y Rusia (TVEL), es aproximadamente 1.000 dólares por un Kg, el cual tiene un valor similar al combustible original. Rusia actualmente reprocesa 200 toneladas al año y posee una capacidad instalada para duplicar esta cantidad.

Tabla 4.7 *– Capacidad reprocesamiento de las plantas de combustible nuclear gastado y el pronóstico hasta el 2010 (miles de toneladas/año).*

Central	Reactores por país	2000	2002	2005	2010
Gran Bretaña:					
Sellafield	GGR	1.500	1.500	1.500	1.500
Sellafield	LWR, AGR	1.200	1.200	1.200	1.200
Dunrey	FBR	10	10	10	10
Francia:					
Marcoule, UP1	GGR	600	-	-	-
M. Ar, UP2, UP3	LWR	1.600	1.600	1.600	1.600
Marcoule, APM	FBR	5	5	5	5
India:					
Tarapur	PHWR,	150	250	250	250

Central	Reactores por país	2000	2002	2005	2010
	reactores de investigación				
Trombey					
Kalpakkam					
Japón:					
Tokay	LWR	90	90	90	90
Rokkasho	LWR				800
Total		5.155	4.655	4.655	5.455
Entre ellos:	GGR	2.100	1.500	1.500	1.500
	LWR	2.890	2.890	2.890	3.690
	FBR	15	15	15	15

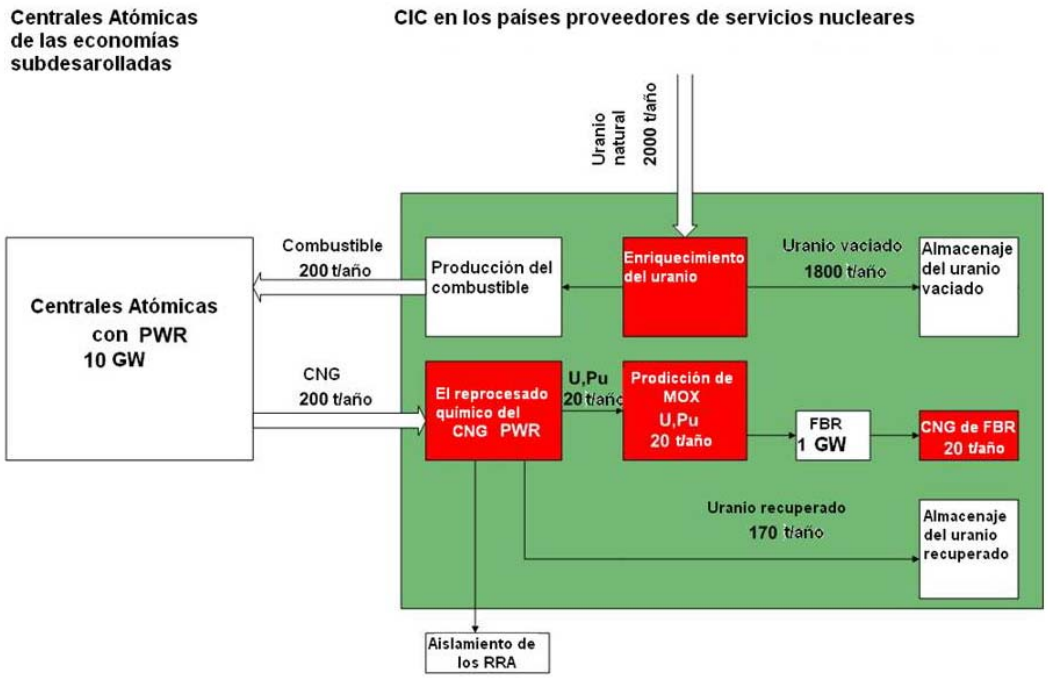


***Figura 4.4** - Estructura principal y balance del flujo en el sistema con un Centro Internacional de Combustible.*

4.4. Minerales alternativos al Uranio[88]

En el año 2004 fueron dados a conocer los resultados del proyecto NERI (Nuclear Engineering Research Initiative), financiado por el Ministerio de Energía Nuclear de Estados Unidos, para investigar la efectividad del ciclo del combustible nuclear "once-throuhg" (para un solo uso), basado en dióxido de torio y uranio (ThO_2-UO_2).

Las conclusiones de dicho estudio establecieron que el uso de este tipo de aleación ampliará el potencial de los recursos existentes, permitirá aumentar la resistencia del combustible nuclear y obtener formas más estables e insolubles de desechos, mejorando los indicadores técnico-económicos y el nivel de seguridad, así como el rendimiento del ciclo de combustible

[88] P. E. McDonald, Chan Bock Lee. Use of thorium-uran fuels in PWRs: a general review of a NERI project to assess feasible core designs, economics, fabrication methods, in-pile thermal/mechanical behavior, and waste form characteristics//Nucl. Technol., 2004, vol.147 No.1, p.1-7.

Las mezclas homogéneas de ThO_2-UO_2 son relativamente baratas. Los cálculos de uso de torio para quemar el plutonio en el reactor -cargado con combustible de torio y plutonio-, mostraron que se puede utilizarlo sin riesgo.

No hay obstáculos para la modificación de las centrales nucleares actualmente en funcionamiento con UO_2 para adecuarlas a la mezcla ThO_2-UO_2. Se han ampliado una serie de códigos de cálculos para el combustible, basado en ThO_2. Según esto, las características termomecánicas, dinámicas y de explotación del combustible homogéneo ThO_2-PuO_2 superan a las del combustible de uranio respeto a la seguridad. Los parámetros cinéticos del reactor basado en ThO_2-PuO_2 determinan una capacidad más alta del reactor en el estado transitorio durante algunos accidentes de proyecto, pero en general, el factor de seguridad para el combustible ThO_2-PuO_2 es igual o superior al del combustible de uranio.

El torio como combustible para los reactores nucleares posee una serie de ventajas en comparación con el uranio, gracias a las diferencias en sus características y a su mayor difusión en la naturaleza. Las reservas del torio en la litosfera y la corteza terrestre son tres veces mayores en comparación con el uranio.

El torio natural consiste en un solo isótopo ^{232}Th con el período de vida media $T_{1/2}$ = 1,39¤10^{10} años. El contenido del ^{228}Th que está en equilibrio con él, es inapreciablemente pequeño - 1,37x10^{-8}%. Se extrae, principalmente del concentrado de monacito, en donde está contenido en forma de fosfato y tiene un bajo nivel de toxicidad.

El ^{232}Th está sometido a la fisión nuclear bajo la influencia de los neutrones rápidos y puede utilizarse como el material de recuperación para obtener el uranio ^{233}U. El ciclo del combustible nuclear de torio, a diferencia del de uranio, no conlleva la generación del plutonio y se diferencia por la menor cantidad de desechos radioactivos peligrosos.

Según la evaluación de especialistas de Rusia y de los Estados Unidos los yacimientos de torio alcanzarán para 500-600 años del desarrollo de la industria nuclear mundial.

Como se menciona en el capitulo 2.2.2, el torio es una fuente energética de gran atractivo por la densidad de energía contenida en dicho recurso. El peligro potencial de contaminar el aire, el agua y la tierra es mucho menor con el torio que con el uranio. En general, la formación de desechos es mucho menor y de más fácil eliminación cuando se usa el torio.

Los reactores pequeños de torio sirven para las turbinas de vapor y el vapor también puede ser utilizado en los procesos como la desalinización y purificación del agua, y además para la síntesis del hidrógeno.

Los reactores que trabajan con ^{235}U en combinación con ^{232}Th producen ^{233}U fisionable, que puede ser separado con el reprocesamiento químico del combustible descargado. El ^{233}U sirve para el uso reiterado o en los mismos reactores o en los reactores con ^{233}U - ^{232}Th. La generación de ^{233}U debe iniciarse a partir de los combustibles U^{235}, U^{238} y $U^{232}Th$, y como este combustible contiene $U^{238,}$ junto con éste se producirá el plutonio. La formación de plutonio puede limitarse a través de la disminución del $U^{238,}$ lo que se observa cuando se utiliza el uranio enriquecido con 93% de U^{235}.

Al igual que el combustible producido con plutonio, el combustible basado en U^{233} contiene otros nuclídos de uranio, que aparecen como resultado de la captura radioactiva de neutrones. La composición isotópica de tal combustible, depende del tipo de reactor y de la profundidad de quemado del combustible. El ^{235}U quemado se compensa por la adición de uranio enriquecido. El combustible producido de esta manera se carga de nuevo en el reactor. Con esto, el contenido de ^{233}U alcanza el enriquecimiento dentro de 3-4 ciclos. Después del período de uso del combustible por 3 años, el combustible es descargado y se reprocesa. El contenido de nuclídos, que absorben de forma no productiva los neutrones de ^{234}U y ^{236}U sigue creciendo hasta después de 15 ciclos. El consumo del uranio natural durante 30 años de explotación del reactor LWR con el combustible U-Th se evalúa en 2.100 t.

Con el uso del ciclo cerrado en el reactor HWR con uranio enriquecido, la necesidad de uranio natural durante 30 años de explotación del reactor constituye tan sólo 1500 ton. El suministro anual de ^{235}U resulta 129 Kg. Con la operación del reactor HWR con combustible enriquecido ^{233}U-Th, el suministro de ^{233}U anual es 106 Kg. Este reactor requiere 1859 Kg de ^{233}U para la carga inicial. Esta cantidad, igual al suministro anual, debe ser producida en otros reactores que consumen el ^{235}U del uranio natural. En el reactor de alta temperatura HTR con la carga de combustible esférico y en el reactor de alta temperatura HTGR la demanda de uranio natural puede ser reducida aún más en particular si se usa combustible U—Th con uranio enriquecido.

4.5. Aspectos de la no proliferación de materiales nucleares

Un aspecto a considerar en la industria nuclear es el eventual uso indebido de materiales para la construcción de armas nucleares. Ya se ha visto que en los reactores tradicionales se forma plutonio, lo que constituye un peligro desde este punto de vista.

La no proliferación de materiales nucleares constituye unas de las exigencias para el cumplimiento de la Convención del OIEA sobre el adecuado uso de las tecnologías nucleares. A partir de esta Convención se solucionan a nivel internacional aquellos aspectos

correspondientes a la contratación del combustible nuclear fresco y al reciclaje del combustible gastado, mediante la adopción de adecuadas medidas de seguridad que impidan el mal uso de la tecnología durante estos procedimientos comerciales.

Con el uso de reactores de neutrones térmicos (RNT) y a neutrones rápidos (RNR) puede obtenerse el mejoramiento de los indicadores binarios de la energía atómica, a partir de las diferencias entre los dos tipos de reactores. Gracias al balance positivo de los neutrones, los reactores a neutrones rápidos pueden abastecer la reproducción ampliada del combustible secundario y suministrarlos a los reactores de neutrones térmicos. Por otro lado, los reactores a neutrones rápidos son capaces de quemar el combustible nuclear hasta los productos de fisión, que es muy importante desde el punto de vista ecológico y de la no proliferación de materiales peligrosos.

Se abre con esto la posibilidad de ampliar la economía del uranio natural y diminución de la cantidad y radiotoxicidad de los materiales fisionables. El reciclaje "once through" del plutonio en algunos países de Europa Occidental no permite disminuir considerablemente las necesidades en uranio natural y la cantidad de combustible gastado. En cambio el uso de reactores nucleares rápidos puede resolver estas dos tareas.

El ciclo cerrado del combustible con reactores VVER y a neutrones rápidos permite disminuir la acumulación de plutonio en el sistema. Al mismo tiempo, el reciclaje repetido de plutonio en el VVER lleva a la acumulación de los actínidos menores (4 Kg Np, 207 Kg Am, 47 Kg Cm al año). En cambio en los reactores a neutrones rápidos y a neutrones térmicos en línea se queman todos los actínidos menores, excepto las pérdidas durante el reprocesamiento. Este hecho influye considerablemente en la radiotoxicida final de los desechos.

La búsqueda de soluciones eficaces para el "requemado" de los nuclídos peligrosos del combustible en los reactores a neutrones rápidos, se unió a la necesidad del análisis físico detallado de la variación de las características del combustible nuclear y de los límites temporales en su salida al estado de equilibrio en las condiciones de gestión del combustible nuclear. Durante la investigación para la optimización de las características del ciclo del combustible vinculado con los reactores a neutrones rápidos y a neutrones térmicos, se examinaron los resultados obtenidos en los aspectos relacionados con la posibilidad de la economía del combustible de uranio, la disminución de la producción del plutonio, actínidos menores y a la radiotoxicidad de los desechos. El ejemplo presentado muestra, en cierto grado, las posibilidades del sistema binario con relación a la solución de estos problemas.

4.6. Aspectos ambientales y de seguridad del ciclo de combustible nuclear

Una de las particularidades de este largo proceso es que todos los materiales que se manejan a lo largo del ciclo poseen componentes radiactivos, en cantidades que varían desde poco a muy significativas. Por otro lado, existe la posibilidad de que ocurra el llamado "accidente de criticidad", es decir, que por manipulaciones del material que no respeten el protocolo de seguridad, puede llegar a ponerse en marcha una reacción en cadena fuera del reactor.

En general la minería del uranio presenta especificidades que hacen recomendable un marco regulatorio específico. El análisis de los aspectos ambientales de la minería del uranio indican que la extracción de ese mineral, el que normalmente está presente en concentraciones menores a 0,5 %, genera una cantidad importante de material estéril, es decir con concentraciones de uranio menores al umbral de rentabilidad. Estas pilas de material estéril, permanecen incluso luego de cerrada la mina, pueden eventualmente emitir radiación en niveles superiores a los naturales, liberar gas radón y lixiviar sustancias radiactivas, que terminan en el ambiente. Debido a la elevada vida media de los componentes radioactivos los depósitos de los residuos deben estar bajo control durante mucho tiempo para prevenir la erosión de las pilas.

El mineral extraído, molido y filtrado en molinos de uranio puede producir emisiones de material particulado con alto contenido de minerales radiactivos. El proceso de separación del uranio del resto de los minerales genera relaves que deben ser manejados y dispuestos de tal manera que no contaminen el ambiente. Asimismo, durante las operaciones mineras en general, grandes volúmenes de agua potencialmente contaminada son bombeados fuera de la mina y un manejo inadecuado puede llevar a que sean liberadas a ríos o lagos. En las minas, los trabajadores están expuestos a polvo radioactivo y a gas radón, presentando riesgos de desarrollar cáncer de pulmón y otras enfermedades. La ventilación de las minas, si bien reduce el riesgo de los trabajadores de contraer enfermedades, puede liberar polvo y gas de radón, lo que incrementaría la insalubridad de los habitantes de la zona.

Al final de la operación de una mina o el de un molino de uranio debe tenerse en cuenta que su cierre requiere cuidados especiales y genera cantidades importantes de residuos radioactivos que deben ser gestionados en forma segura y durante un largo periodo de tiempo. En todas las actividades mineras, pero particularmente en la del uranio, el cierre de una mina debe preverse a lo largo de toda la vida del proyecto. De otra manera, los costos resultan demasiado importantes y, en lugar de imputarlos al uranio, podrían terminar ser socializados. Por esta razón, en general, resulta recomendable la conformación de un fondo para el cierre de las minas y otras instalaciones vinculadas.

Sin perjuicio de lo expuesto, debe destacarse que existen prácticas para las operaciones mineras del uranio que aseguran una adecuada inserción en el ambiente. Una cuidadosa gestión ambiental y un manejo transparente de la información en las actividades mineras resultan indispensables para la extracción del uranio.

El combustible nuclear fresco, aquel que no ha sido introducido dentro de la zona activa del reactor nuclear, se almacena en las piscinas de almacenamiento correspondientes dentro del recinto de contención de la central en las cercanías del reactor. Desde estas piscinas y a través de la máquina de recarga primero se extraen las casetas seleccionadas con combustible quemado y se depositan en la piscina de decaimiento donde estarán entre 3 a 5 años y con posterioridad se toman los casetes frescos en la piscina correspondiente para ser introducidos en la zona activa en reemplazo de los que fueron extraídos (ver Figura 4.5). Pasados los 5 años el combustible gastado se puede almacenar hasta el cierre de la central en almacenes exteriores debidamente acondicionados para ello y con los controles establecidos. En la Figura 4.6 se puede apreciar la piscina para el combustible extraído del reactor y los silos de almacenamiento en seco del combustible gastado fuera del recinto de contención de una central nuclear de los Estados Unidos, donde permanecerán hasta su evacuación definitiva, así como el medio utilizado para su movimiento dentro de la central nuclear.

Maquina de recarga de combustible fresco y gastado

Plataforma de recarga del combustible nuclear

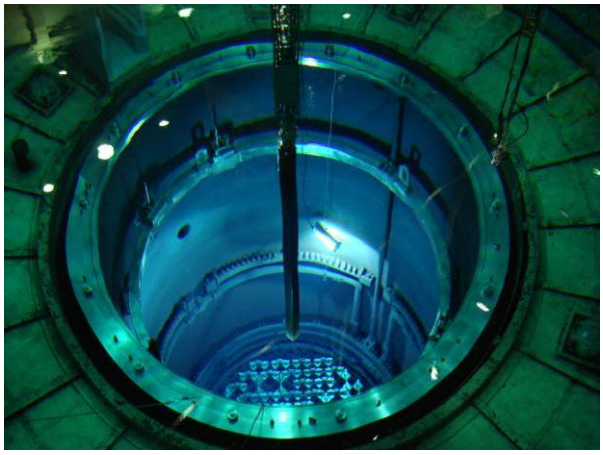


Figura 4.5 *– Maquina de recarga, plataforma de recarga del combustible nuclear y vasija de reactor en recarga de la central nuclear Santa María de Garoña en España.*

Figura 4.6. *– Piscina de almacenamiento del combustible gastado en el recinto de contención de la central nuclear y su almacenamiento en seco en el emplazamiento de la central nuclear. Nótese, en la imagen superior derecha, la cercanía del área para el almuerzo de los trabajadores de los silos de almacenamiento y en la imagen inferior, que no es necesaria ropa de protección para el movimiento de los contendores. (Fuente: Marshall Cohen, The future of Nuclear Energy, Nuclear Energy Institute).*

El ciclo de combustible nuclear involucra también el transporte (ver Figura 4.8), a veces a largas distancias, de sustancias radioactivas. El combustible, ya sea antes o después de haber pasado por el reactor, se transporta dentro de recipientes especialmente diseñados para este fin (ver Figura 4.7), siguiendo protocolos de seguridad muy estrictos y bajo el contralor de organismos locales e internacionales. Los recipientes deben cumplir una doble función: el confinamiento de las sustancias, lo que se logra mediante varias capas protectoras, y el permitir la disipación de calor que acompaña los procesos radioactivos. Estos contenedores son diseñados para resistir fuertes golpes sin pérdida de confinamiento, previendo un accidente relevante del medio que lo transporta. Asimismo, los recipientes son capaces de resistir incendios de consideración. Para mayor seguridad, en la actualidad, cada contenedor posee un emisor satelital que permite que sea rastreado en todo momento.

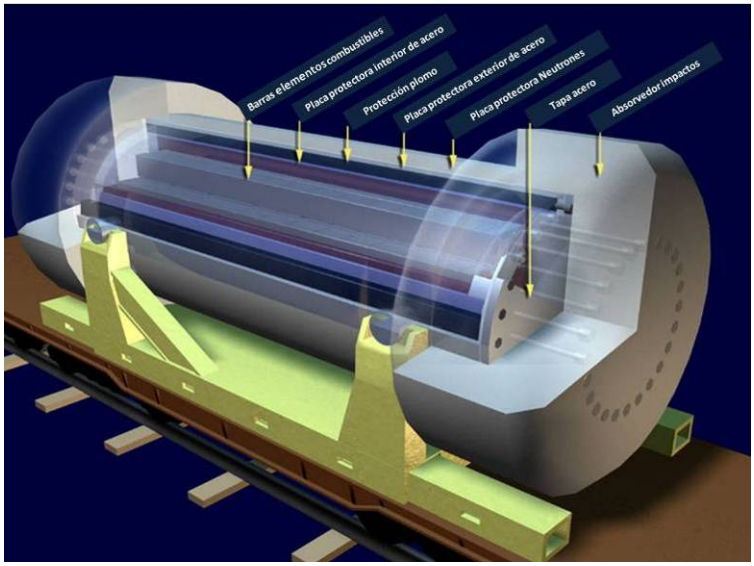


Figura 4.7 *– Esquema del contenedor para transportación elementos combustibles gastados.*

Figura 4.8 *– Manipulación contendores combustible gastado y transportación por carretera.*

Las pruebas que tienen que superar los transportes de materiales radiactivos según establece el OIEA son:

- Caída libre desde 9 m de altura sobre un blanco rígido sin pérdida de integridad.
- Caída libre desde 1 m de altura sobre punzón de acero sin pérdida de integridad.
- Ensayo de fuego a una temperatura de 800 °C durante 30 minutos.

- Ensayo de inmersión en condiciones equivalentes a una profundidad de 15 m durante 8 horas (para el caso de combustible gastado se hace un ensayo reforzado a 200 m de profundidad durante 1 hora) garantizando la estanqueidad.

Adicionalmente también se hacen ensayos en condiciones reales de accidente:

- Impacto de un camión a 138 km/h contra muro de hormigón de 3 m de espesor.
- Impacto locomotora a 131 km/h contra contenedor, etc.

En la Figura 4.9 se recogen imágenes de las pruebas realizadas e impactos contra una pared y un choque con una locomotora. En los dos casos los resultados demostraron la resistencia del contendor al impacto y por tanto la no salida exterior de los materiales radioactivos.

Figura 4.9 *– Pruebas de impactos realizadas a contendores de transportación del combustible nuclear.*

No hay constancia de que se haya producido ningún accidente en el mundo durante el transporte de materiales radiactivos en el que se haya producido una dispersión de la carga radiactiva.

El proceso de reciclado produce a su vez los residuos, (a veces denominados “cenizas”) que si bien ocupan un volumen menor, siguen siendo radiactivos. Estos residuos contienen los actínidos menores y los productos de fisión del uranio que también presentan vidas medias y altos niveles de toxicidad, por lo que deben gestionarse con estrategias similares a las planeadas en los países que han resuelto no reciclar sus residuos nucleares. Según el OIEA, el reprocesamiento del combustible produce 0,40 m^3 de residuos de alta actividad por cada tonelada, los cuales son vitrificados, lo que implica que el reprocesamiento del combustible usado en un año por una central de 1.000 MW genera un volumen de 15 m^3 de residuos vitrificados de alta actividad.

Conclusiones

Según el análisis del estado actual de la industria nuclear, al uso que se le da al uranio enriquecido y a los recursos disponibles en el planeta, se puede deducir, que para una plazo no superior a 100 años, no existe riesgo de limitación del crecimiento y mantenimiento de la actual producción de energía nuclear, por causa de insuficiencia de recursos de combustible.

El mercado mundial del combustible nuclear para las centrales y los reactores de investigación se ha desarrollado en forma estable. Durante los 50 años que tiene la industria nuclear no hubo ni un caso de interrupción en el suministro del combustible, vinculado con la insuficiencia de recursos.

En algunos países las leyes antimonopólicas han facilitado la competencia de los productores de combustible, permitiendo que una misma central nuclear utilice combustibles de diferentes proveedores. Esto ha significado un importante estimulo para mejorar y hacer más eficiente el ciclo de producción del combustible, también para obtener mejores métodos de reciclaje y aplicaciones de mejoras en los sistemas de seguridad del transporte. Por ejemplo, está planeado para la Central Nuclear de Temelin sustituir el combustible de Westinghouse por el de TVEL. En Ucrania se está considerado sustituir el combustible de TVEL por el de Westinghouse.

Algunos países tales como Rusia, India y Japón que desarrollan su propia industria nuclear pero poseen reservas limitadas de recursos de uranio, están buscando métodos alternativos para abastecerse de combustible nuclear. Las alternativas más importantes son la adopción del ciclo cerrado de combustible y reactores a neutrones rápidos, la elaboración del ciclo de combustible del torio y la también utilización de combustible nuclear proveniente de armas nucleares.

En la actualidad, Rusia posee más de 50 años de experiencia con reactores nucleares para la producción de la energía eléctrica y para la desalinización del agua. Está actualmente trabajando en varios proyectos científicos para mejorar esta tecnología, para lo cual a direccionado sus investigaciones especialmente en la línea de los reactores a neutrones rápidos y al uso del torio en el ciclo del combustible.

La tendencia de las actuales centrales nucleares, especialmente los tipos PWR y VVER, es devolver el combustible gastado al proveedor para su reprocesamiento, lo que resuelve en gran medida el problema la gestión posterior de este material. No existen antecedentes de

rechazo por parte proveedor de los acuerdos suscritos de reprocesar los desechos, por cuanto es un buen negocio para él. Por lo tanto es una posibilidad que se da por descartada.

Asimismo, hasta hoy no hay ni un solo caso de interrupción de suministro de combustible, incluyendo problemas políticos y económicos. El riesgo de interrupción por causas geopolíticas es poco probable, por cuanto el suministro de combustible se planifica con antelación para excluir este riego. Además entre carga y recarga del combustible en el reactor, los plazos al ser altos (1 a 3 años, dependiendo del modelo) permitirán encontrar siempre una solución a este tema.

En el mercado del combustible nuclear existe una sana competencia entre los productores y. en muchos casos, una asociación estratégica entre los mismos, todo esto para dar un mejor servicio y minimizar los riesgos de transporte y manipulación del producto.

El riesgo durante el transporte es muy bajo, lo ha demostrado la estadística. En cambio los riesgos de gestión de los desechos radioactivos, especialmente los del combustible gastado, son evidentemente mayores, pero se pueden minimizar si se cumplen los protocolos de seguridad que existen para estas operaciones en las centrales nucleares en operación.

Bibliografía

4.1.- Nuclear News, 2001, v. 44, No 12, pp.64-65.

4.2.- Uranium 2001, Resources, Production and Demand. Paris: OECD/NEA – IAEA, 2002.

4.3.- Ciclo de combustible nuclear en 2001-2002. Ministerio de la energía atómica. 2002.

4.4.- World Nuclear Association, Newsletter. Jan/Feb/ 2003.

4.5.- The Global Nuclear Market, Supply and Demand 2003-2005. World Nuclear Association.

4.6.- La lista Roja de uranio. OECD. 2005.

4.7.- Torio, sus recursos de materia prima, química y tecnología, Moscú. 1960.

4.8.- Zélikman A. N., La metalurgia de metales del grupo de las tierras raras, del torio y uranio. Moscú. 1961.

4.9.- Emelianov V. S., Evstiukhin A. I., La metalurgia del combustible nuclear. Moscú. 1968.

4.10.- Seaborg G. T., Cats J., Química de los elementos actínidos, trad. del inglés. Moscú. 1960.

4.11.- Bowen H. J. M., Trace elements in biochemistry. L.-N.Y. 1966.

4.12.- Endrew Picford. Caminos del desarrollo de la energía australiana. Informe del Centro de análisis estratégico (Future Directions International). 6.10.2005. Pert, Australia.

4.13.- Rusia en la política global. № 4. Estrategia atómica. Julio – Agosto. 2006

4.14.- ¿Habrá más torio? Dinero. AtomInfo. Ru. 03.08.2007.

4.15.- India no rechazará el torio. AtomInfo. Ru 25.09.2008.

4.16.- El primer AHWR-300 de torio puede ser construido al lado de Mumbai. AtomInfo. Ru. 28.04.2008

4.17.- India y Sri-Lanca pueden colaborar en la energética del torio. AtomInfo. Ru 16.10.2008

4.18.- Anil Cacodcar, Evolución del programa nuclear de India – bases y perspectivas. AtomInfo. Ru 20.01.09

4.19.- India empezará a construir el reactor de torio no más tarde que dentro de 1 año. AtomInfo. Ru 20.10.2008

4.20.- A. N. Prasad: el contratado con Estados Unidos hundió a la India a la dependencia del uranio. AtomInfo. Ru 20.01.2009

4.21.- Cacodcar: torio es el mejor remedio contra el plutonio. AtomInfo. Ru 20.01.2009

4.22.- Reactor AHWR - el primer paso de la India hacia la energía de torio. AtomInfo. Ru 20.01.2009

4.23.- India celebra la puesta en marcha del reactor de investigación de torio. AtomInfo. Ru 20.01.2009

4.24.- El primer comprador de la tecnología del torio será el país-novicio. AtomInfo. Ru 20.01.2009

4.25.- India – el estatus actual de la energética del torio. AtomInfo. Ru 20.01.2009

4.26.- La compañía de Estados Unidos ofrece a India los reactores de torio, que no requieren el tratamiento químico del CNG y capaces de garantizar la independencia energética de India. AtomInfo. Ru 20.01.2009

4.27.- U. I. Koriakin. Las cercanías de la energía atómica rusa: nuevo desafíos. Moscú.: Editorial GUP NIKIET. 2002.

4.28.- Lista blanca de la energética nuclear. Bajo la redacción de E. O. Adamov. Moscú.: Editorial GUP NIKIET. 2001.

4.29.- Uranium 1999: Resources, Production and Demand. NEA, OECD-IAEA. 199. 340 p.

4.30.- N. I. Ermakov et al. Some aspects of Nuclear Power Development in Russia and Studies of its Optimal Long-Term Structure. International Symposium on Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategy. Key Issue Papers. Vienna, Austria. 3-6 June, 1997. P.65-76.

4.31.- N. Chebeskov et al. Some Scenarios for Possible Development and Structure of Nuclear Power in Russia. International Conference – Global`97, Jokohama, Japan. 5-10 October, 1997. P.112-117.

4.32.- Política energética de la FR: Revisión. París: OIEA. 1996.

4.33.- Programa del desarrollo de la energía de la FR en 1998-2005 Y la perspectiva hasta 2010 Moscú.: ICIC de dirección, economía e información. 1977.: Revisión. París: OIEA. 1996.

4.34.- International Symposium on Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategy: Adjusting to New Realities. Key Issue Papers. Vienna, Austria. 3-6 June 1997.

4.35.- La eficacia de la energía nuclear: criterios del sistema de la dirección del desarrollo /V. I. Rachkov. Moscú.: FGUPCNIIATOMINFORM. 2008.

4.36.- M. Haissinsky, J. P. Adloff. Radiochemical Survey of the Elements. Principal Characteristics and Applications of the Elements and their Isotops. Elsevier Publ. Amst.-London-NY. 1965.

4.37.- P. E. McDonald, Chan Bock Lee. Use of thorium-uran fuels in PWRs: a general review of a NERI project to assess feasible core designs, economics, fabrication methods, in-pile thermal/mechanical behavior, and waste form characteristics/Nucl. Technol., 2004, vol.147 No.1, p.1-7.

4.38.- Torio, sus recursos de materia prima, química y tecnología, Moscú., 1960.

4.39.- Zélikman A. N., La metalurgia de metales del grupo de las tierras raras, del torio y uranio. Moscú, 1961.

4.40.- Emilianov V. C. y Yevstiuk A. I., Metalurgia Nuclear 2da edición, 1968.

4.41.- Seaborg G. T., Cats J., Química de los elementos actínidos, trad. del inglés. Moscú, 1960.

4.42.- Bowen H. J. M., Trace elements in biochemistry, L.—N. Y., 1966.

4.43.- Endrew Picford. Caminos del desarrollo de la energía australiana. Informe del Centro de análisis estratégico (Future Directions International). 6.10.2005. Pert, Australia.

4.44.- International Symposium on Nuclear Fuel Cycle and Reactor Strategy: Adjusting to New Realities. Key Issue Papers. Vienna, Austria. 3-6 June 1997.

Capítulo 5

Autoridad Reguladora Nuclear Nacional

5.1. La Autoridad Reguladora Nuclear Nacional[89, 90]

Un elemento fundamental para el correcto control de todo lo relacionado a la industria nuclear en un país, es el establecimiento de un marco jurídico adecuado que permita el funcionamiento de esta industria así como la creación y el mantenimiento de una Autoridad Reguladora Nuclear Nacional, llamada a ejercer un estricto control sobre el sector. Solo de esta forma se puede lograr una adecuada competencia legal y técnica, requisito indispensable para velar por que los operadores de instalaciones nucleares y los usuarios de sus materiales y desechos lleven a cabo sus actividades con la debida seguridad tecnológica y física.

La Autoridad Reguladora debe estructurarse de forma tal que pueda desempeñar sus funciones con independencia, manteniendo una estructura y un tamaño adecuado a la extensión y naturaleza de las instalaciones y actividades sobre las cuales debe actuar. Asimismo, es importante asegurar que esta disponga de recursos suficientes, tales como personal capacitado, recursos económicos, instalaciones apropiadas, acceso a tecnologías de la información y servicios de apoyo, entre otros. Una Autoridad Reguladora puede en determinados casos no ser autosuficiente, especialmente en materia técnica, para desempeñar algunas funciones de revisión y evaluación, concesión de licencias, e inspección. En ese caso las normas deben facultar al organismo para contar con asesoría o asistencia externa, asegurando que quienes la proporcionan sean efectivamente independientes del operador o titular de la licencia. Hay que subrayar que este apoyo externo no releva a la Autoridad Reguladora de su responsabilidad sobre las decisiones que se adopten. Esta situación de solicitar eventualmente asesoría externa, se da especialmente en aquellos países que recién optan por la opción nuclear cuando la Autoridad Reguladora aún no tiene la suficiente experiencia para licenciar los proyectos nucleares presentados. También se da en aquellos países que requieren licenciar un modelo de reactor desconocido

[89] Este capítulo se desarrolla para cumplir con los requerimientos del mandante establecidos en Términos de Referencia, en particular, al requerimiento de analizar la institucionalidad e infraestructura y los costos de ella, de acuerdo a la experiencia aportada por el equipo de profesionales rusos.

[90] Legal and Gubernamental Infraestructure for Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety, Safety Requirements, Safety Standars Series No. GS-R-1, IAEA, 2000.

para los especialistas de la Autoridad Reguladora, el cual seguramente fue importado de otro país.

La importancia del concepto de independencia de la Autoridad Reguladora está reconocida en documentos como la Convención sobre Seguridad Nuclear de Naciones Unidas, que establece la necesidad de que cada Estado disponga de las medidas adecuadas para velar por una separación efectiva entre las funciones reguladoras de la Autoridad y las de cualquier otro órgano o entidad que se dedique a la promoción o la utilización de la energía nuclear, incluyendo actividades como la gestión de combustible gastado y de residuos radiactivos. Dos elementos cruciales para asegurar esa independencia de la Autoridad Reguladora son la capacidad técnica y los recursos económicos. Una organización encargada de tomar decisiones técnicas complejas debe disponer de expertos capaces de tomarlas por sí mismos o de evaluar las recomendaciones de otros. Por su parte, los recursos económicos deben ser adecuados y seguros.

Las principales funciones de la Autoridad Reguladora son: establecer los requisitos mínimos de desempeño de los emprendimientos nucleares, evaluar y licenciar los proyectos propuestos, inspeccionar y verificar el desempeño de los proyectos nucleares aprobados y sancionar las eventuales desviaciones o faltas al desempeño previsto. En función de ello la consideración principal al establecer una Autoridad Reguladora es que ésta posea los atributos necesarios para aplicar correctamente las leyes y reglamentos nacionales destinados a cumplir esas funciones, con miras a garantizar la protección de la población, el ambiente y los bienes.

Las funciones que debe desempeñar la Autoridad Reguladora se pueden agrupan en cuatro categorías, tal como están referidas en la Convención sobre Seguridad Nuclear ya mencionada y en la Convención Conjunta. Estas son: Reglamentación, Concesión de licencias, Fiscalización y Coerción. Existe una quinta categoría a la que no se refieren las convenciones mencionadas, pero que la mayoría de los organismos reguladores internacionales consideran esencial, que es la información al público en general y a las partes interesadas sobre actividades reguladas por la Autoridad Reguladora.

La primera categoría de funciones de la Autoridad Reguladora es asegurar que se establezcan los requisitos y las disposiciones nacionales aplicables en materia de seguridad, así como fijar los principios y criterios de seguridad, reglamentos y guías.

El segundo grupo de funciones incluye conceder, modificar, suspender y revocar las licencias y establecer las condiciones de su concesión. Estas funciones son requeridas también en la aplicación de la Convención sobre Seguridad Nuclear y de la Convención Conjunta referidas, las que prohíben explotar instalaciones nucleares o de gestión de

residuos radiactivos sin contar con la autorización correspondiente por la Autoridad Nacional Reguladora Nuclear.

En el marco de la tercera categoría, la Autoridad Reguladora debe llevar a cabo inspecciones para asegurar que la salud pública, el ambiente y los bienes estén debidamente protegidos y la seguridad tecnológica, garantizada. Para ello, requiere tener acceso irrestricto a los emplazamientos y las instalaciones donde se utilice tecnología y materiales nucleares, así como la capacidad para exigir de los operadores toda la información necesaria y que realicen las evaluaciones, reevaluaciones y revisiones periódicas de seguridad durante la vida útil de las instalaciones. Además, la Autoridad Reguladora podrá iniciar una serie de actividades ciertamente importantes, tales como llevar a cabo monitoreos radiológicos ambientales de carácter independiente, dentro y en los alrededores de una central, realizar pruebas y medidas de control de calidad, asegurar el monitoreo del personal, exámenes médicos y monitoreos en el área de no proliferación nuclear, entre otros.

El cuarto grupo de funciones apunta a asegurar el cumplimiento de las disposiciones aplicables y de lo estipulado en las licencias. La Autoridad Reguladora debe tener la capacidad para imponer multas y sanciones -como suspensión, modificación o revocación de las licencias- ante eventuales incumplimientos.

El quinto grupo de funciones de la Autoridad Reguladora prevé que ésta debe tener programas destinados a suministrar información sobre cuestiones y actividades que afectan la seguridad nuclear y radiológica a las partes interesadas. El público en general, los medios de comunicación, el Parlamento y el gobierno local correspondiente, entre otros, deberán recibir información especialmente preparada para su adecuada comprensión. La confianza pública en el uso seguro de materiales y técnicas nucleares está íntimamente relacionada con que la Autoridad Reguladora haga una divulgación rápida, apropiada, precisa y completa de la información. Asimismo, a nivel nacional hay muchos otros sectores interesados a quienes se debe incorporar al proceso de toma de decisiones.

Dado que producción de energía nuclear se ha convertido en una actividad mundial, la Autoridad Reguladora Nuclear Nacional debe estar en estrecho contacto y coordinada con organizaciones idénticas de otros países. Es importante estar consciente de ello, no sólo por los posibles efectos transfronterizos en materia de salud, seguridad tecnológica y medioambiente en caso de averías, sino también porque la mayoría de las actividades nucleares tienen facetas técnicas y comerciales internacionales (adquisiciones, compra de combustible, uso de tecnología de origen foráneo, etc.). Estos contactos con las organizaciones internacionales sirven para promover la cooperación y el intercambio de información en materia de regulación.

5.2. El marco jurídico nacional

Cada país debe establecer el marco jurídico aplicable a la ejecución de actividades relacionadas con la energía nuclear, con el objetivo de proteger adecuadamente a las personas, los bienes y el medioambiente. Particularmente, debe dotar a la Autoridad Reguladora de la capacidad para ejercer las funciones ya descritas. Obviamente, las normas que se aplican a las actividades nucleares se insertan en el ordenamiento jurídico de cada uno de los países, por lo que requieren compatibilidad con éste.

Una característica esencial de las normas jurídicas sobre energía nuclear es que prestan atención al concepto de riesgo-beneficio derivado del uso de dicha tecnología.

Dependiendo de las actividades nucleares que cada país decida autorizar, el uso de la tecnología nuclear puede suponer la aplicación de gran cantidad de leyes relacionadas con otras materias, tales como protección ambiental, seguridad e higiene laboral, planificación del uso de la tierra, procedimientos administrativos del Estado, la minería, el transporte, exportación e importación de materiales y dispositivos nucleares, la ética pública y la regulación de las tarifas eléctricas, etc.

La no existencia de este marco jurídico para la actividad nuclear provoca un impacto negativo para el desarrollo de esta actividad, lo que se refleja de forma indirecta en una barrera para la industria nuclear ante la imposibilidad de desarrollar inversiones en este sector, no por un tema de rentabilidad sino por falta de la regulación correspondiente por lo que se le puede asociar un riesgo que para el inversionista es percibido como infinito.

Sin en el marco jurídico adecuado y maduro no es posible el desarrollo de un programa nucleoeléctrica pues no se contarían con las regulaciones y exigencias que son necesarias tener para garantizar un desarrollo seguro y confiable de esta actividad tanto para el medioambiente como para la población, el papel del Estado y sus instituciones en la fiscalización y control de esta actividad, así como las responsabilidades que se adquieren tanto por el operador de la central nuclear y el propio Estado a nivel nacional e internacional de acuerdo con las regulaciones existentes en esta materia. ***Su no existencia constituye una barrera para el desarrollo de un programa para la generación de electricidad de origen nuclear, ya que no posibilita la propuesta de inversiones en este sector tan importante para el desarrollo de cualquier país.***

5.2.1. Principio de seguridad tecnológica

La seguridad tecnológica es el requisito prioritario en el uso de la energía nuclear. El objetivo fundamental de todo régimen regulador es lograr el equilibrio entre los riesgos y las ventajas sociales. Al aplicar estos conceptos interrelacionados y superpuestos de seguridad tecnológica siempre es importante centrarse en el requisito esencial de que tanto los riesgos como las ventajas de la energía nuclear se comprendan y tengan en cuenta debidamente, a fin de alcanzar un equilibrio razonable en la formulación de las medidas legales o reguladoras.

Basado precisamente en este principio, es que se establecen leyes, reglamentos y normas que deben satisfacer cualquier instalación nuclear o radioactiva[91] que se pretenda poner en operación en un país. En el caso particular de las centrales nucleares, el proceso de licenciamiento al que se somete cualquier instalación de este tipo está sustentado en este principio y constituye la base fundamental para la garantía de la seguridad nuclear en todas las etapas de su desarrollo. Este proceso se explicara en la sección 5.2.4 de este capítulo.

Un ejemplo práctico de ello se puede apreciar el sistema de refrigeración de emergencia que tiene la central nuclear (ver Figura 5.1). Si falla el circuito primario de refrigeración, aunque se introduzcan las barras de control, el calor residual podría fundir el núcleo; entonces entra en funcionamiento el sistema de emergencia:

- Varios dispositivos de agua fría borada independientes.
- Bombas con grupos diesel independientes.
- En caso de que todo falle, el recinto de contención debe soportar la presión e impedir la salida al exterior de sustancias radioactivas (recuerde que Chernobyl no poseía este recinto).

[91] Según la Ley de Seguridad Nuclear (Ley No. 18302 del 2 de Mayo de 1984) en su artículo 3 inciso 9 y 10 son instalaciones nucleares: a) Los reactores nucleares, salvo los que se utilicen como fuente de energía en un medio de transporte, tanto para su propulsión como para otros fines; b) Las fábricas que utilicen combustible nucleares para producir sustancias nucleares y las fábricas en que se proceda al tratamiento de sustancias nucleares, incluidas las instalaciones de reprocesamiento de combustibles nucleares irradiados y c) Los depósitos de almacenamiento permanente de sustancias nucleares o radiactivas, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte. Son instalaciones radioactivas aquellas en que se produzcan, traten, manipule, almacén i utilicen materiales radioactivos o equipos que generen radiaciones ionizantes.

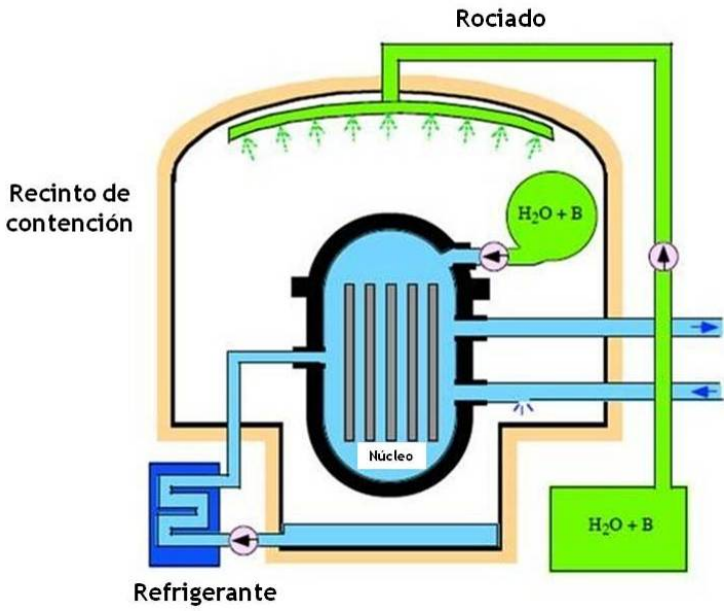


Figura 5.1. *– Esquema del Sistema Refrigeración de Emergencia.*

5.2.2. Principio de seguridad física

Tanto los materiales como la misma tecnología nuclear, por errores humanos, o por encauzarse hacia fines no pacíficos, son en potencia extremadamente peligrosos, por lo que se requieren medidas jurídicas especiales para impedir que esto ocurra, tanto accidental como intencionadamente.

La solidez de las instalaciones nucleares, los dispositivos especiales de seguridad para impedir todo acceso no autorizado o forzado, y los requisitos reglamentarios con arreglo a los cuales las centrales deben estar diseñadas para soportar 'amenazas bases de diseño' contra actos de sabotaje y robos, indican que es muy improbable que un ataque perpetrado desde el interior de una central provoque una emisión significativa de radiactividad. En un ejercicio de seguridad realizado en 2002 por el Center for Strategic International Studies de los Estados Unidos se llegó a la conclusión de que las centrales nucleoeléctricas son blancos muchísimo menos atractivos para los terroristas debido a las estrictas medidas de seguridad a que están sujetas estas instalaciones.

Por otro lado, (ver Figura 3.2 y 5.1) el diseño del recinto de contención soporta el impacto de una onda de choque de 30 KPa y el choque de un avión con un peso de 20 t a una velocidad de 2000 m/s.

La Convención sobre la Protección Física de Materiales Nucleares y su Enmienda que se verá adelante constituye un instrumento importante para la fiscalización y el control de los materiales nucleares. Esta Convención se encuentra en vigor en Chile desde el 23 de Febrero de 1990.

Adicionalmente la protección física se garantiza a nivel de cada país y en ella se pueden involucrar las instituciones establecidas para ello como lo son las Fuerzas Armadas y el Ministerio de Interior entre otros que de conjunto con la entidad explotadora de la central garantizaran la protección física de las instalaciones no solo en contra del desvió de materiales y equipos con destino a la proliferación nuclear u otros usos sino también en contra de actos terroristas.

5.2.3. Principio de responsabilidad

La entidad responsable en cumplir con los requisitos exigibles en materia de salud, seguridad tecnológica y física y protección del ambiente es el operador o titular de la licencia para llevar a cabo actividades específicas relacionadas con la energía nuclear. Sin perjuicio de ello, el uso de la energía nuclear implica normalmente el involucramiento de diversas organizaciones, además de la Autoridad Reguladora: constructoras, financieras, industriales, entre otras. Hay que tener claro que el operador de la instalación nuclear es el único responsable de un eventual daño nuclear. No puede hacerse responsable a ninguna otra persona u organización ni eximir la responsabilidad al operador en virtud de otras disposiciones legales (por ejemplo, las normas sobre responsabilidad civil). La responsabilidad siempre será del operador de la instalación nuclear. Este concepto es un elemento básico del derecho de responsabilidad nuclear y a veces desconocido en otras ramas del derecho.

Más adelante se señalaran los diferentes instrumentos internacionales que regulan este principio y que sirven de marco paras que los países que desarrollen un programa de generación nuclear las incluyan en su legislación.

El otorgamiento de licencias en las diferentes etapas de un Programa de Generación Nuclear refleja este principio al responsabilizarse la entidad explotadora con el cumplimiento de lo establecido en cada una de ellas. La Convención sobre la de Responsabilidad Civil por Daño

Nuclear es otro ejemplo de este principio, la cual fue ratificada por Chile el 23 de Noviembre de 1989 y se encuentra en vigor desde el 23 de Febrero de 1990 y constituye la base para la solución jurídica adecuada para tratar los riesgos nucleares y la responsabilidad del Estado y la entidad explotadora ante ellos.

5.2.4. Principio de autorización

Teniendo en cuenta los riesgos de la tecnología nuclear, el derecho exige siempre la autorización previa (conocida como licencia) de las actividades que impliquen el uso de materiales fisionables y radioisótopos. La ley determina claramente las actividades o instalaciones que requieren de esta autorización. También debe tenerse en cuenta que la autorización de esta actividad puede tener repercusiones prácticas y jurídicas en terceros.

Este principio está relacionado con el proceso de licenciamiento bajo el cual se desarrolla un Programa de Generación de Nuclear, incluyendo además la autorización que se debe recibir al entregar la evaluación de impacto ambiental establecida por la autoridad correspondiente de medioambiente (en Chile la CONAMA[92]). Este proceso hace que la generación nuclear este constantemente bajo el control de la Autoridad Reguladora Nuclear con el fin de garantizar la seguridad nuclear a la instalación y por tanto la protección del medioambiente y la población.

Aunque la Comisión Chilena de Energía Nuclear, Autoridad Reguladora por ley[93], es la encargada de otorgar estas licencias el reglamento que regule este proceso no ha sido elaborado para el caso de las instalaciones nucleares. Este hecho en particular, puede impactar negativamente a la posibilidad de incluir inversiones de este tipo en sector eléctrico con el objetivo de diversificar su matriz energética. Sin embargo, la posibilidad está totalmente concebida dentro del desarrollo de la mencionada ley.

5.2.5. Principio de control

Después de concedida la licencia de operación para realizar las actividades solicitadas, el organismo regulador de cada país debe poseer la facultad de controlar permanentemente al operador autorizado a fin de asegurarse de que esas actividades se ejecutan de manera tecnológica y físicamente seguras y de acuerdo con las condiciones en que fue concedida la

[92] Comisión Nacional para el Medioambiente.
[93] Según la Ley Seguridad Nuclear (Ley No. 18302 del 2 de Mayo del 1984) en su titulo primero.

licencia. Este principio implica que la legislación nuclear nacional debe garantizar el libre acceso de los inspectores del organismo regulador a todo lugar donde se utilicen y almacenen materiales nucleares.

Este es un principio que se recoge en la Ley de Seguridad Nuclear vigente en Chile y que le permite a la Autoridad Reguladora efectuar las inspecciones correspondientes y detener el desarrollo de los trabajos si se detecta incumplimiento de la licencia otorgada. Garantiza en principio, que la instalación se construya y opere de forma segura y confiable.

5.2.6. Principio de indemnización

Las medidas preventivas no pueden excluir la posibilidad de que se produzcan daños a las personas, los bienes o al medioambiente. Por ello, el derecho nuclear requerirá que el Estado adopte medidas para asegurar compensaciones adecuadas en tales casos. Todos los Estados que llevan a cabo actividades nucleares han concluido que las normas generales sobre responsabilidad civil no son un instrumento apropiado para dotarse de un régimen de responsabilidad adaptado a las características específicas de los riesgos implicados, por lo que han aprobado leyes especiales de responsabilidad específica en la materia. Asimismo, la posibilidad de que se produzcan daños transfronterizos requiere disponer de un régimen internacional de responsabilidad.

Para dar cumplimiento a este principio existen diferentes instrumentos internacionales que reglamentan todo eso proceso y que se enunciaran más adelante en este capítulo. Todos ellos constituyen la base jurídica necesaria para la instrumentación de las leyes y reglamentos nacionales en los países donde se desarrolla o se desarrolle un programa para la generación nuclear. En Chile está vigente la Convención de Responsabilidad Civil por Daño Nuclear, así como del Protocolo Común y la Convención de Paris donde se estipulan las indemnizaciones correspondientes, aunque este tema esta aun en discusión a nivel internacional.

5.2.7. Principio de desarrollo sostenible

El desarrollo económico y social de una población sólo puede ser “sostenible” si el medioambiente se protege de los peligros por el uso de materiales fisionables y de fuentes de radiación ionizante por períodos de tiempo muy largos. Sin embargo, la propia durabilidad de estos materiales hace difícil determinar qué medidas actuales se necesitan

para proteger adecuadamente a las generaciones de un futuro lejano e impredecible. Una manera de aplicar el principio de desarrollo sostenible al terreno nuclear es instar a la generación actual a hacer todo lo posible para asegurar la seguridad tecnológica a largo plazo.

Precisamente este es un principio que se tiene en cuenta en la industria nuclear, de ahí los altos estándares de seguridad en todas sus etapas. En la particular para los desechos radioactivos, que pueden ser valorados como una herencia a las generaciones posteriores, se encuentran en investigación y desarrollo en Rusia, Estados Unidos, Francia entre otros métodos que permitirán reducir estos volúmenes y su actividad utilizando los métodos de transmutación y reprocesamiento como se recoge en el capítulo 4 del presente estudio.

5.2.8. Principio internacional de cumplimiento

En la medida en que un Estado haya adherido a los instrumentos internacionales sobre materia nuclear, su derecho nuclear debe reflejar las obligaciones establecidas en estos. Tanto a nivel regional como mundial, instrumentos bilaterales y multilaterales van formando un derecho internacional de la energía nuclear.

En Chile este proceso aun no está totalmente concluido, por lo que será necesario el análisis correspondiente para que no constituya una barrera para la introducción de este tipo de generación de considerarse necesaria. Con anterioridad y más adelante en este mismo capítulo se ha hecho y se hará referencia a estos instrumentos.

5.2.9. Principio de transparencia

El principio de transparencia requiere que las entidades que participan en el desarrollo, uso y regulación de la energía nuclear divulguen al público en general, a los medios de comunicación, al Parlamento, a los gobiernos locales y a otros organismos interesados, toda la información pertinente. En particular, se debe divulgar la información relativa a los incidentes y anomalías que puedan afectar a la salud pública, la seguridad tecnológica y el medioambiente.

En el capítulo 3 vinculado con la seguridad nuclear se recoge en particular, el Sistema Establecido por el OIEA para la evaluación de accidente e incidentes en la energía nuclear, lo cual facilita una rápida comprensión de la situación ocurrida en cada uno de ellos. Por

otro lado, el OIEA y la WANO[94] (por sus siglas en ingles, World Association of Nuclear Operators) tienen mecanismos establecidos para la evaluación en sito de cualquiera de estos eventos, concluida la cual sus resultados son puestos en conocimiento a la opinión pública internacional y del país de ocurrencia en particular.

Adicionalmente a estos se ha adoptado como norma la creación de centros de información a la población en las centrales nucleares. Estos centros se encargan fundamentalmente de mantener informada a la población de la gestión de la central nuclear así como de proveer información para el conocimiento de las principales características de la generación nuclear. De hecho, se relacionan con la comunidad cercana y realizan tour a través de la instalación. En la Figura 5.2 se puede apreciar dos imágenes del Centro de Información de la Central Nuclear de Santa María de Garoña en España.

Figura 5.2 *– Imágenes del Centro de Información de la Central Nuclear de Santa María de Garoña en España.*

Otros ejemplos de transparencia de la industria nuclear lo constituyen la información que se ofrece por los organismos especializados a la comunidad internacional en el análisis de incidentes y accidentes de esta industria. Así por ejemplo, la información sobre el accidente

[94] WANO: World Association of Nuclear Operators (Asociación Mundial de Operadores Nucleares)

de la central nuclear de Chernobyl se puede obtener en el siguiente link de internet http://chernobyl.undo.org/english/docs/chernobyl.pdf.

En caso más reciente de la central nuclear japonesa Kashiwazaki Kariwa la información en línea puede ser encontrada en http://www.tepco.co.jp/en/index-e.html.

5.2.10. Principio de cooperación internacional

La dimensión internacional de la energía nuclear se basa en varios factores. En primer lugar, en el ámbito de la seguridad tecnológica y el ambiente, la posibilidad de efectos transfronterizos requiere que los Estados y organismos reguladores armonicen sus políticas y creen programas de cooperación para minimizar el riesgo de eventuales daños que afecten a sus ciudadanos y a su territorio. En segundo lugar, el uso de materiales nucleares conlleva riesgos para la seguridad física que no conocen fronteras, teniendo en cuenta que las amenazas de actos terroristas, del tráfico ilícito de materiales nucleares y de la proliferación de explosivos nucleares, requiere un alto grado de cooperación internacional. En tercer lugar, se ha adoptado gran número de instrumentos jurídicos internacionales para acordar las obligaciones de los Estados en estas materias. En cuarto lugar, el carácter cada vez más multinacional del sector nuclear involucra frecuentes movimientos transfronterizos de materiales y dispositivos, lo que hace que un control efectivo dependa de la actuación paralela y conjunta de entidades públicas y privadas de los países involucrados.

La Convención de Seguridad Nuclear es un ejemplo práctico de este principio. Esta convención se crea con espíritu incentivador, con la idea de que los Estados, con distintos desarrollos nucleares y de cultura de seguridad, se obliguen a mejorar sus condiciones, así como a intercambiar experiencias a través del sistema de revisión entre homólogos. Una explicación detallada del mismo se recoge en el sección 5.4.1 de este capítulo.

Adicionalmente existen programas de cooperación bilateral como el que está en vigor entre Argentina y Brasil que les permite inspecciones reciprocas en sus instalaciones con el objetivo de elevar la seguridad y la disponibilidad de las mismas al intercambiar las buenas prácticas que utilizan.

Existen además instituciones internacionales como el OIEA, la WANO, AEN entre otras que propician la cooperación en este sector, así como la cooperación directa que se establece entre las instituciones científico-técnicas del proveedor y receptor de las centrales nucleares y entre sus propias Autoridades Reguladoras Nucleares.

La Convención sobre Asistencia y sobre Pronta Notificación, que se analizara más adelante, constituyen otros ejemplos de la cooperación internacional.

5.3. Proceso de aprobación del marco jurídico

El proceso de aprobación de la legislación nacional por la que se establece el marco jurídico del desarrollo y uso de la tecnología nuclear y de materiales nucleares, no difiere en lo esencial del proceso legislativo en cualquier otra materia. La legislación nuclear, como cualquier otra, debe cumplir los requisitos constitucionales e institucionales del ordenamiento político y jurídico de cada Estado.

Sin perjuicio de ello, el desarrollo de las normas legales debe tener en cuenta que la cuestión de la energía nuclear presenta complejidades técnicas adicionales y comprende ciertos materiales y actividades que suponen riesgos excepcionales para la salud humana, la seguridad tecnológica y el medioambiente, además de riesgos para la seguridad física tanto nacional como internacional. Es preciso realizar una revisión del marco legal de la industria de un país, si un Estado quiere evaluar los programas y planes actuales sobre uso de técnicas y materiales nucleares.

Para el desarrollo del marco jurídico, los Estados deben estar dispuestos a tomar decisiones firmes sobre el alcance y el carácter del desarrollo nuclear que quieren promover. Tales decisiones requieren una clara formulación que puede requerir un debate público y el consiguiente intercambio de opiniones. En ese marco, es importante tener una perspectiva clara del modo en que la normativa nuclear podría afectar a las personas y a las instituciones interesadas, así como de su percepción sobre el modo en que se verían afectados. En el terreno nuclear, las percepciones subjetivas pueden llegar ser tan importantes como la realidad misma.

En general se considera como “interesados”, a la industria y los profesionales sujetos a regulación, a las entidades científicas, a los organismos estatales (locales, regionales y nacionales), a los medios de comunicación, a las organizaciones ciudadanas (grupos comunitarios, ONG y grupos de interés) y al público en general. También debe considerarse a otros Estados, sobre todo los vecinos con los que se haya suscrito acuerdos para el intercambio de información sobre posibles efectos transfronterizos y aquellos vecinos que también optaron por la energía nuclear (como lo es Argentina y Brasil para Chile en el evento que se opte por la energía nuclear)

Como se referirá más adelante, la comunidad nuclear internacional ha adoptado gran número de instrumentos internacionales sobre cuestiones nucleares específicas. La adhesión a estos instrumentos (ratificación parlamentaria) hace que, a partir de su entrada en vigor, los Estados queden sujetos a las obligaciones que en ellos se establecen, ya que han sido incorporados a la legislación nuclear nacional.

5.4. Convenciones y tratados internacionales

Para permanecer integrados a la comunidad internacional, los países deben adoptar un gran número de instrumentos internacionales (convenios y tratados) sobre cuestiones nucleares específicas. Estos instrumentos se incorporan a la legislación de cada país una vez que están en vigor y que han dado los pasos necesarios para ratificarlos, conforme a su ordenamiento jurídico.

A partir de entonces los Estados quedan sujetos a las obligaciones que se establecen en los instrumentos. Luego, eventualmente será necesaria la aprobación de las medidas reglamentarias para asegurar la efectividad de las disposiciones, en concordancia con la Convención sobre Seguridad Nuclear del OIEA. Esta, en su artículo 4º, dispone que "cada Parte Contratante adoptará, en el ámbito de su legislación nacional, las medidas legislativas, reglamentarias y administrativas, así como cualesquier otras que sean necesarias para dar cumplimiento a las obligaciones derivadas de la presente Convención".

Los principales temas de las Convenciones y Tratados aplicables a los usos pacíficos de la energía nuclear son:

- Seguridad radiológica y protección de trabajadores de la central nuclear y del público.

- Seguridad constructiva, licenciamiento y operación de la central nuclear y facilidades asociadas a la manipulación del combustible, disposición de desechos radiactivos, etc.

- Manejo, transporte y almacenamiento seguro de material nuclear.

- Protección del medioambiente y mitigación del impacto por el establecimiento de una central nuclear y sus instalaciones asociadas.

- Responsabilidad por la importación y exportación de material nuclear.

- Responsabilidad por una comunicación efectiva en caso de emergencia nuclear, accidentes y su potencial impacto en el medioambiente y en el público.

- Responsabilidad civil por daños.

- Salvaguardias

5.4.1 Convención sobre Seguridad Nuclear y Convención Conjunta[95]

El principal modo de garantizar una preparación y respuesta ante emergencias adecuadas es establecer y mantener planes de emergencia aplicables en el propio emplazamiento y fuera de él. Estas dos convenciones disponen que los Estados parte adopten las medidas adecuadas para velar por que existan planes de emergencia. Los planes deben probarse antes de que la instalación nuclear comience a funcionar, así como posteriormente mediante revisiones ordinarias. La cooperación estrecha con los Estados vecinos es esencial para abordar eficazmente las consecuencias de los accidentes radiológicos. Es un principio de derecho internacional público que los Estados que permiten actividades potencialmente peligrosas en su territorio deben asegurarse de que éstas no causen efectos perjudiciales importantes a otros Estados. Como consecuencia de este principio, los Estados están obligados a mitigar los efectos perjudiciales que causen en el territorio de otros y a indemnizar los perjuicios sufridos. Se puede concluir de esto que los Estados, en caso de provocar una daño involuntario a otro, están obligados a ofrecer su cooperación al Estado afectado para tomar medidas conjuntas de respuesta ante emergencias.

5.4.2. Convenciones sobre Asistencia y Sobre pronta Notificación[96]

Teniendo en cuenta la experiencia del accidente de Chernobyl, se crearon estos instrumentos internacionales cuyo propósito es establecer bases para una respuesta internacional inmediata ante emergencias. Las partes contratantes de la Convención para una pronta notificación se comprometen a proporcionar información precisa que facilite la organización de contramedidas. Esta Convención, que establece sólo un marco general, sugiere que, según proceda, los Estados consideren la posibilidad de firmar acuerdos bilaterales o multilaterales que establezcan marcos jurídicos detallados para el intercambio transfronterizo de información sobre accidentes.

La Convención sobre asistencia es también un acuerdo marco, diseñado para establecer una base general para la mutua asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia

[95] En vigor en Chile de acuerdo desde el 20 de Marzo de 1999.
[96] En vigor en Chile según Decreto Supremo No. 361 del 25 de Abril del 2006.

radiológica. Toda parte contratante puede pedir ayuda a otra, al OIEA o a otras organizaciones internacionales intergubernamentales.

5.4.3. Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radiactivos

Regula el transporte de todas las categorías de materiales radiactivos, desde los de muy baja actividad, como los minerales y concentrados de minerales, hasta los de muy alta actividad, como el combustible gastado y otros desechos radiactivos de alta actividad. El reglamento es aplicable al transporte de material radiactivo (Clase 7) por cualquier modo (aéreo, marítimo o terrestre). Si ese transporte implica cruzar fronteras, regirá el Artículo 27 de la Convención Conjunta que contiene una serie de reglas y obligaciones especiales relativas al movimiento transfronterizo de combustible gastado y desechos radiactivos. Específicamente dispone que el movimiento transfronterizo de estos materiales no tenga lugar sin el consentimiento del Estado de destino, que el movimiento transfronterizo de estos materiales a través de los Estados de tránsito esté sujeto a las obligaciones internacionales relacionadas con las modalidades particulares de transporte que se utilicen, y que el Estado de origen de los materiales se comprometa a asegurar que estos se sujetan en todo momento a esas obligaciones internacionales.

5.4.4. La Convención Conjunta

Básicamente esta convención creó un marco jurídico internacional para las leyes nacionales. Como el resto de la legislación nuclear, la Convención Conjunta aborda tres grandes problemáticas: la primera es que los desechos radiactivos deben gestionarse de manera tecnológicamente segura hasta mucho más allá de la generación actual. La segunda es que los desechos radiactivos de un Estado pueden ser los recursos de otro (en la Convención Conjunta, los desechos radiactivos se definen como “los materiales radiactivos... para los cuales la Parte Contratante… no prevé ningún uso ulterior...”). La tercera dificultad es consecuencia de la segunda, en el sentido de que algunos Estados reprocesan el combustible nuclear que se ha irradiado en reactores nucleares, mientras que otros no lo hacen: para los primeros el combustible gastado es un recurso, mientras que para los segundos se trata de un desecho radiactivo.

Muchos Estados consideran, implícita o explícitamente, que los desechos radiactivos se deben eliminar en el territorio del que los haya producido. La mayoría de estos Estados

consideran además que el que haya producido estos desechos debe encargarse de su disposición final.

En relación a este tema, se han celebrado los siguientes Convenios Internacionales de Responsabilidad Nuclear Universal (abiertos a todos los Estados):

- **Convención sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (Viena 1963)**[97]
- **Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares (1997)** Aún no ha entrado en vigor.

- **Protocolo sobre aplicación de la Convención de Viena y el Convenio de París**[98] Rige desde 1988

Además, se han celebrado los siguientes Convenios Internacionales Regionales de Responsabilidad Nuclear, abiertos a los Estados miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y a otros Estados con el consentimiento de todas las partes en el convenio respectivo:

- **Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear de 1960 revisado en 1964, 1982 y 2003** (esta última aún no ha entrado en vigor).

- **Convenio Suplementario del Convenio de París, de Bruselas de 1963; revisado en 1964, 1982 y 2003** (esta última aún no ha entrado en vigor).

La Convención de Viena y el Convenio de París establecen regímenes amplios y casi idénticos de responsabilidad civil por daños nucleares. El propósito del Convenio Suplementario de Bruselas es establecer indemnizaciones adicionales mediante fondos públicos nacionales e internacionales en los casos en que las indemnizaciones derivadas del Convenio de París no basten para cubrir todos los daños. La convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares, que se basa en la convención de Viena, el Convenio de París o la legislación nacional concordante con el Anexo de la Convención, establece también indemnizaciones suplementarias mediante fondos públicos internacionales. El Protocolo Común vincula la Convención de Viena y el Convenio de París a los efectos de garantizar que los beneficios previstos en el primer instrumento se extienden a las partes en el segundo.

[97] En vigor en Chile desde el 23 de Febrero de 1990.
[98] En vigor en Chile 27 de Abril de 1992.

Los principios básicos y el contenido esencial de los convenios sobre responsabilidad nuclear se aceptan actualmente a nivel internacional como la solución jurídica adecuada para tratar los riesgos nucleares. Son el patrón internacional para determinar si una ley de responsabilidad nuclear es adecuada en relación con los riesgos nucleares.

Las Salvaguardias Internacionales que aplica la OIEA son un medio esencial de verificar que los Estados cumplen sus compromisos de no usar materiales o tecnología nuclear para fabricar armas nucleares u otros dispositivos explosivos nucleares. Las fuentes radiactivas deben protegerse físicamente para impedir que sean sustraídas o dañadas y que personas no autorizadas las utilicen en actividades ilícitas. Por ejemplo, la adquisición de una fuente radiactiva por terroristas plantea el riesgo de que se fabrique un dispositivo de dispersión radiactiva ("bomba sucia") para amenazar o dañar a un gran número de personas.

- **Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas**

  Resume algunas de las medidas que pueden tomar los Estados respecto a la no proliferación, los materiales nucleares que pueden utilizarse para producir dispositivos explosivos nucleares requieren mayores medidas de protección física.

- **Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN)**[99]

  Permite al Estado controlar las exportaciones e importaciones de los materiales objeto de la convención sólo cuando tenga garantías de que estarán protegidos de acuerdo con los niveles descritos. El Artículo 27 de la Convención conjunta establece que las partes contratantes intervengan en los movimientos transfronterizos de los materiales objeto de la convención sólo cuando se cumplan las condiciones especificadas. La CPFMN del 26 de octubre de 1979 es el instrumento legal más importante y se centra fundamentalmente en los materiales nucleares cuando son objeto de transporte internacional, pero también contiene otros requisitos importantes relativos a las medidas nacionales de protección física. Resumiendo, la CPFMN exige de los Estados que participan:

  - Adopten ciertas medidas de protección física y garanticen determinados niveles de protección física en los envíos internacionales de materiales nucleares.
  - Cooperen en la recuperación y protección posterior de materiales nucleares sustraídos.

[99] En vigor en Chile desde 23 de Febrero de 1990

- Tipifiquen en sus leyes como delitos ciertos actos (p. ej. la sustracción de materiales nucleares y la amenaza o tentativa de utilizar materiales nucleares para dañar a la población).

- Juzguen o extraditen a los acusados de cometer esos actos.

Finalmente, un elemento importante de la CPFMN es que clasifica los materiales nucleares por tipo y cantidad con el fin de aplicar distintos niveles de protección física. A continuación se listan los instrumentos jurídicos internacionales agrupados según sean vinculantes (o sea, contengan elementos de obligado cumplimiento), o no vinculantes (o sea, contengan solo recomendaciones).

Instrumentos jurídicos vinculantes

- Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares
- Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica
- Convención de Seguridad Nuclear
- Convención Conjunta sobre la Seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos
- Convención sobre la Protección Física de Materiales Nucleares y su Enmienda.
- Acuerdo de Salvaguardias Comprensivas
- Protocolo Adicional a los Acuerdos de Salvaguardias[100]
- Convención de Viena sobre la Responsabilidad Civil por Daños Nucleares
- Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena sobre la Responsabilidad Civil por daños Nucleares
- Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares
- Protocolo Facultativo sobre Jurisdicción Obligatoria para la Solución de Controversias
- Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares
- Protocolo Común Relativo a la Aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de Paris

Instrumentos no vinculantes

- La Infraestructura Legal y Estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos y del transporte (OIEA No. GS-R-1)

[100] En vigor en Chile por Decreto Supremo No. 17 del 20 de Marzo del 2004

- Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección contra la Radiación Ionizante y la Seguridad de las Fuentes de Radiación. (Colección de Seguridad No. 115)
- Código de Conducta Revisado sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radioactivas
- Directrices sobre la Importación y Exportación de Fuentes Radioactivas
- Código de Conducta sobre la Seguridad de Reactores de Investigación
- Reglamento Revisado para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos (No. TS-R-1, ST-1 Revisado)
- Principios Básicos de Protección Física (GC -45/INF- 14)
- La Protección Física de los Materiales Nucleares y de las Instalaciones Nucleares (INFCIRC 225/Rev. 4, Corr.)

5.5. Salvaguardias para el uso pacífico de la energía nuclear

Cuando la fisión nuclear fue descubierta en Alemania, en 1938, las potencialidades de una reacción de fisión en cadena fueron comprendidas de inmediato por la comunidad de físicos: si se lograba controlar, se tendría una "caldera nuclear" para sustituir a las calderas con combustibles fósiles de centrales generadoras de potencia eléctrica. Así lo entendieron los científicos rusos y crearon posteriormente el primer reactor nuclear para uso civil en Rusia en el año 1954.

Pero esta comunidad de especialistas también se dio cuenta de que existía la posibilidad de que la reacción en cadena fuera descontrolada. Se tendría entonces, un explosivo mucho más poderoso que los conocidos hasta ese momento, al que después se denominaría bomba atómica de fisión o bomba A, tal como lo comprendieron los estadounidenses, que crearon la primera bomba atómica en el año 1945. Una bomba de fisión efectiva requiere un material enriquecido en uranio 235 o en plutonio 239 en un grado muy elevado de enriquecimiento (más del 90%), aunque se pueden obtener explosivos menos efectivos con un grado menor de enriquecimiento.

Desde 1946, la comunidad internacional focalizó su atención sobre cada uno de los aspectos que está vinculado con este proceso con el objetivo de prevenir el acceso a estos materiales y tecnologías críticas, prevenir los ensayos nucleares, así como controlando el acceso a las tecnología necesarias para la fabricación de armamento. En la Figura 5.3. se representa los elementos considerados en la no-proliferación de armas nucleares.

Figura 5.3 *– Elementos considerados en la no-proliferación*

En la actualidad, para prevenir la proliferación de las armas nucleares la comunidad internacional utiliza salvaguardias implementadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Se trata de un medio de vital importancia que garantiza que un Estado de cumplimiento a su compromiso de no utilizar materiales fisionables especiales y otros, así como servicios, equipos e instalaciones nucleares, para el desarrollo de armas u otros dispositivos nucleares con fines militares. El alcance de dicho compromiso se determina en las obligaciones que asume el Estado en cada Tratado y en el tipo de acuerdo de salvaguardias que el Estado haya acordado con el OIEA. Por medio de diversos instrumentos internacionales, regionales y bilaterales, los Estados se comprometen a aceptar la aplicación de salvaguardias a los materiales y actividades nucleares sujetos a su jurisdicción o control.

El objetivo de las salvaguardias es la detección oportuna del desvío de una cantidad significativa de material nuclear destinada a usos pacíficos y la disuasión de eventuales desvíos. A grandes rasgos, las salvaguardias comprenden tres funciones: contabilidad, contención y vigilancia e inspección.

El principal instrumento internacional sobre la materia es el **Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares**[101] (TNP) de 1968, ratificado por 187 Estados y que se complementa con varios otros acuerdos de no proliferación regionales.

Estos contienen medidas adicionales que reflejan las aspiraciones políticas de los Estados de una región determinada. Los siguientes tratados regionales están en vigor o en proceso de ratificación:

- Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe[102] (Tratado de Tlatelolco), que entró en vigor en 1969.

- Tratado sobre la Zona Libre de Armas Nucleares del Pacífico Sur (Tratado de Rarotonga), que entró en vigor en 1986.

- Tratado sobre una Zona Libre de Armas Nucleares en el Asia Sur oriental (Tratado de Bangkok), que entró en vigor en 1997;

- Tratado sobre una zona libre de armas nucleares en África (Tratado de Pelindaba).

Además aparece el Fortalecimiento de las Salvaguardias auspiciado por el OIEA, con la promulgación de un nuevo modelo de salvaguardias **"Modelo de Protocolo Adicional para Acuerdos de Salvaguardias entre Estado(s) y el OIEA para la aplicación de Salvaguardias" (llamado "Protocolo Adicional", INFCIRC/540)**[103]. Con este nuevo instrumento el OIEA busca fortalecer la capacidad de obtener conclusiones sobre la ausencia de materiales nucleares o actividades no declarados por un Estado, a través de la transparencia de la información ampliada brindada por los países en cuanto a sus programas nucleares y un mayor derecho de acceso a las instalaciones por parte de los inspectores de salvaguardias.

En un mundo donde muchos países no son autosuficientes en el desarrollo y uso de la tecnología y materiales nucleares, la vigilancia y "control de las transferencias nucleares" entre Estados son elementos esenciales del régimen mundial de no proliferación. Los controles de exportación e importación en este ámbito son la aplicación práctica de los compromisos adquiridos por los Estados en virtud del **Tratado de No Proliferación** (TNP), especialmente del Artículo I (para los Estados que poseen armas nucleares) y el Artículo II (para los Estados que no poseen armas nucleares) de no ayudar a los Estados que no poseen armas nucleares a obtenerlas y de no pedir o recibir ayuda para obtenerlas.

[101] En vigor en Chile por Decreto Supremo No. 17 del 20 de Marzo del 2004.
[102] En vigor en Chile desde 30 de Mayo de 1994.
[103] Ídem al 28

Asimismo, los controles de exportación son esenciales para cumplir la obligación, establecida en el Artículo III.2 del TNP, de no suministrar materiales básicos o materiales fisionables especiales, ni equipos o materiales especialmente diseñados o preparados para el procesamiento, uso o producción de esos materiales, a Estados que no poseen armas nucleares, ni siquiera con fines pacíficos, a menos que esos materiales se sometan a las salvaguardias del OIEA. Compromisos y obligaciones similares se establecen en los tratados de no proliferación regionales, como los de Tlatelolco, Rarotonga, Bangkok y Pelindaba. Además de frenar la producción de explosivos nucleares y el terrorismo nuclear, los controles de la exportación e importación nuclear refuerzan la función reguladora fundamental del Estado de evitar que personas no autorizadas adquieran materiales y tecnología nucleares que no pueden manejar en condiciones de seguridad física y tecnológica.

Entre los requisitos más importantes que un Estado debe asumir aparecen: la necesidad de designar la autoridad responsable por establecer y mantener un Sistema de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares sujetos a Salvaguardias (SCCMN), el envío de registros y reportes de las actividades de contabilidad y control desde y para el OIEA, la revisión y verificación del diseño de la instalación, realizar inspecciones, y encargarse del mantenimiento de registros operacionales de la instalación.

Las Salvaguardias se plantean básicamente de dos formas: como un requerimiento mandatario sobre todos los proyectos del OIEA y la asistencia técnica que éste provea a un país y por otro lado a pedido de un Estado motivado en el cumplimiento de obligaciones asumidas por la firma de un Acuerdo Multilateral, como por ejemplo el Tratado de No Proliferación (TNP), o el tratado que establece zonas libres de armas nucleares (Tlatelolco[104]).

El Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares que entró en vigor el 5 de marzo de 1970, establece que “los Estados Poseedores de Armas Nucleares se comprometen a no ayudar o alentar a los Estados No Poseedores de Armas Nucleares a adquirirlas”. Por otro lado los Estados No Poseedores de Armas Nucleares se comprometen “a no fabricar o adquirir de ninguna forma dispositivos nucleares con fines explosivos, aceptar el Régimen de Salvaguardias del OIEA sobre todos los materiales nucleares utilizados en actividades pacíficas de uso de la energía nuclear y finalmente no proveer materiales nucleares o medios para su producción de materiales fisionables a Estados No Poseedores de Armas Nucleares para fines pacíficos”, sin un acuerdo previo de salvaguardias conforme al Tratado de No Proliferación.

[104] En vigor en Chile desde 30 de Mayo de 1994.

5.6. El licenciamiento para las centrales nucleares

Uno de los mecanismos de control estatal sobre el uso de la energía nuclear, en cada una de sus actividades, es el licenciamiento de las etapas del ciclo de vida de la actividad respectiva. En este estudio solo se hará mención a lo relacionado con las centrales nucleares.

Bajo el término de "licenciamiento" de las centrales nucleares se comprende desde la solicitud para la emisión de las licencias, hasta su otorgamiento con las condiciones de validez por la que fueron extendidas. Esto lo realiza la Autoridad Reguladora Nacional (en Rusia, AFCN) que no solo considera el control a las organizaciones involucradas, sino también al personal en funciones que inciden en la seguridad nuclear y radiológica.

La Autoridad Reguladora Nacional es la institución estatal encargada para el otorgamiento de licencias y su posterior control y supervisión. La licencia final se otorga a la entidad encargada de operar la central nuclear.

Una central nuclear requiere de las siguientes licencias durante todo su ciclo de operación:

1. Licencia para el emplazamiento.

2. Licencias para el inicio de la construcción.

3. Licencia para la operación.

4. Licencia para el desmantelamiento.

Para cada una de estas licencias la entidad explotadora deberá presentar la documentación correspondiente que acredite y garantice la debida seguridad nuclear y radiológica en el proceso que le corresponde. Esta información, una vez entregada por el operador a la Autoridad Reguladora Nacional, pasa por un proceso de análisis y posterior aprobación o rechazo. La etapa de análisis es realizada por la Autoridad Reguladora Nacional con medios propios y también utilizando otras instituciones especializadas que puedan colaborar en el estudio y peritaje de la documentación entregada por los operadores. No obstante, la responsabilidad final por la emisión de la licencia la asume completamente la Autoridad Reguladora Nacional.

Adicionalmente hay que señalar que este proceso de licenciamiento no excluye la realización simultánea de cualquier otro tipo de procedimiento establecido en el país, como lo es por ejemplo el Estudio de Impacto Ambiental solicitado por las instituciones encargadas del control del medioambiente

Para la supervisión de los trabajos que se realizan en cada una de las etapas del ciclo de vida de la central nuclear y del cumplimiento de las condiciones por las cuales fue otorgada la licencia, la Autoridad Reguladora Nacional debe disponer de un personal altamente especializado y con todas las atribuciones que otorga la ley para realizar inspecciones periódicas al emplazamiento de las centrales nucleares. Esta especie de "policía nuclear" es la encargada de velar para que todas las empresas que utilizan reactores nucleares de uso civil cumplan estrictamente con las normas de seguridad previstas. Para realizar este trabajo tienen la facultad de detener la operación de una central nuclear si detectan incumplimientos a las normas o regulaciones establecidas en la licencia que le fuera otorgada. En el caso de las centrales en construcción, tienen la facultad de paralizar parte o totalidad de las obras.

Como se puede apreciar, este es un proceso complejo y tiene impactos y riesgos durante todas las etapas del ciclo de vida de la central nuclear. El primero efecto es fundamentalmente económico, por el atraso del proyecto, en el evento que no cumpla ciertos requisitos que signifique la solicitud de información adicional que fundamente la seguridad nuclear y radiológica o la detección de insuficiencia en la calidad de los trabajos o actividades que tengan una implicación directa en la condiciones de vigencia de la licencia y que, por lo tanto, afecten la seguridad nuclear y radiológica. El riesgo asociado está dado por la detención de los trabajos que pueden conllevar retrasos significativos en la ejecución de las obras, en la etapa de construcción, o en la operación de la central nuclear.

Por ello, las entidades explotadoras, responsables por todas las etapas del ciclo de vida de la central, toman las medidas correspondientes con el objetivo de minimizar estos riesgos y su consiguiente impacto económico. Para ello, utiliza inspectores propios durante la etapa de construcción, colaboración de centros de investigaciones para las actividades de apoyo científico-técnico y peritaje, así como establece un sistema de garantía de calidad para todas las etapas del ciclo de vida de la central nuclear, entre otras medidas.

5.7. La experiencia de la Federación de Rusia[105, 106]

El sistema ruso para la administración estatal de las actividades de la energía nuclear, que inició su funcionamiento en el año 1954 cuando se instaló la primera central núcleo eléctrica en la entonces Unión Soviética, abarca tanto los aspectos económico-financieros como la parte tecnológica y la seguridad. Actualmente el órgano estatal encargado de la administración de la industria es la Corporación Estatal para la Energía Nuclear "Rosatom", cuyo director general es nombrado por el Presidente de la Federación de Rusia.

Desde el punto de vista legislativo, las funciones de Rosatom son las siguientes:

Ejecutar las políticas estatales en el desarrollo de la energía nuclear, ejecutar las tareas del programa estatal de armamento, determinar las políticas de desarrollo de la rama nuclear, cumplir las tareas del programa estatal de armamento y los encargados de la defensa nuclear, así como poner en práctica la regulación jurídica y prestar servicios y administrar los bienes relacionados al uso de la energía nuclear y desarrollar las ciencias nucleares, la educación científica y profesional, así como ejecutar la cooperación internacional en esta rama.

ROSATOM controla a un holding de empresas estatales (Atomenergoprom), que se encargan de todos los aspectos de la Industria Nuclear civil, tal como la extracción de uranio, producción del combustible, producción de energía eléctrica, construcción de las centrales nucleares, investigaciones para la innovación y construcción de equipamiento.

En la Figura 5.4 se presenta la estructura organizativa de Rosatom y en la Figura 5.5 se explican las principales actividades de Rosatom, a través del Holding Atomenergoprom.

5.7.1. Rosenergoatom[107]

Entre las empresas que Rosatom controla, la más importante es Rosenergoatom, compañía encargada de administrar las centrales nucleares que actualmente existen en Rusia. Sus atribuciones y funciones son:

---

[105] Elaboración propia basada en las leyes, normas y reglamentos vigentes para la energía nuclear en la Federación de Rusia.
[106] Ley Federal "Sobre el Uso de la Energía Atómica" de 21.11.2005, No. 170-L.
[107] Ley Federal "Sobre la Corporación Estatal de Energía Atómica "Rosátom" de 01.12.1996 No 317-LF, (Sistema GARANT 2009).

- Operación de las centrales nucleares.
- Soporte económico, financiero y comercial para dar cumplimiento a sus funciones como entidad operador y a nuevos proyectos.
- Despacho centralizado de la energía eléctrica producida.
- Colaboración internacional en el área de la seguridad nuclear.
- Capacitación del personal.

La Figura 5.4 muestra la estructura organizativa de la industria nuclear en la Federación de Rusia y la Figura 5.5 las principales actividades del Holding Atomenergoprom.

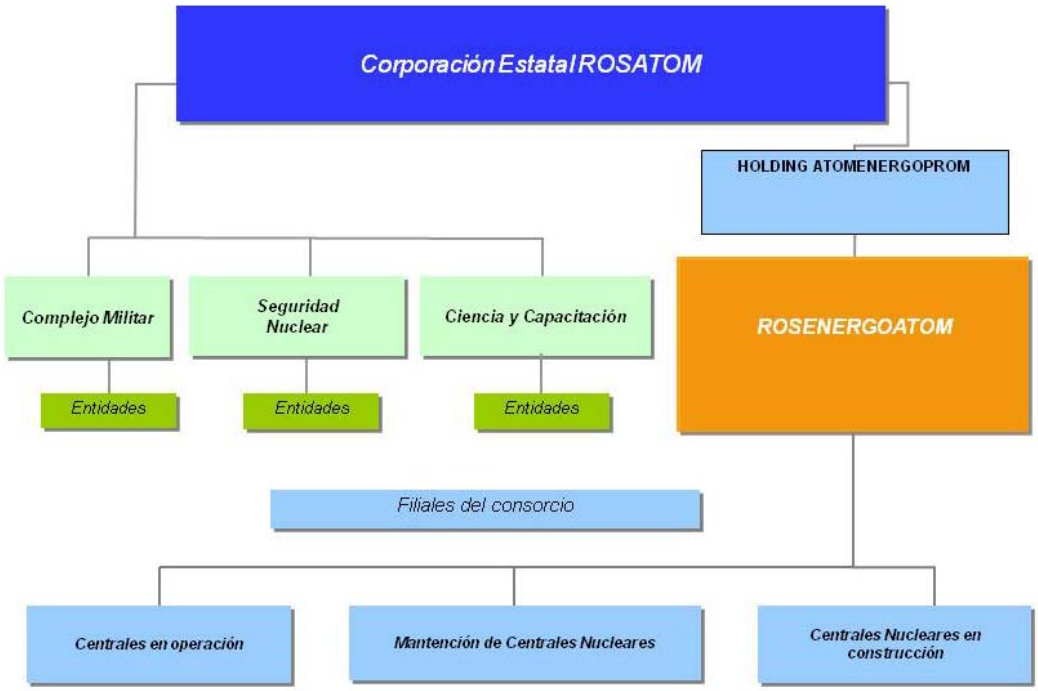


Figura 5.4 - *Estructura organizativa de la Industria Nuclear en Rusia.*

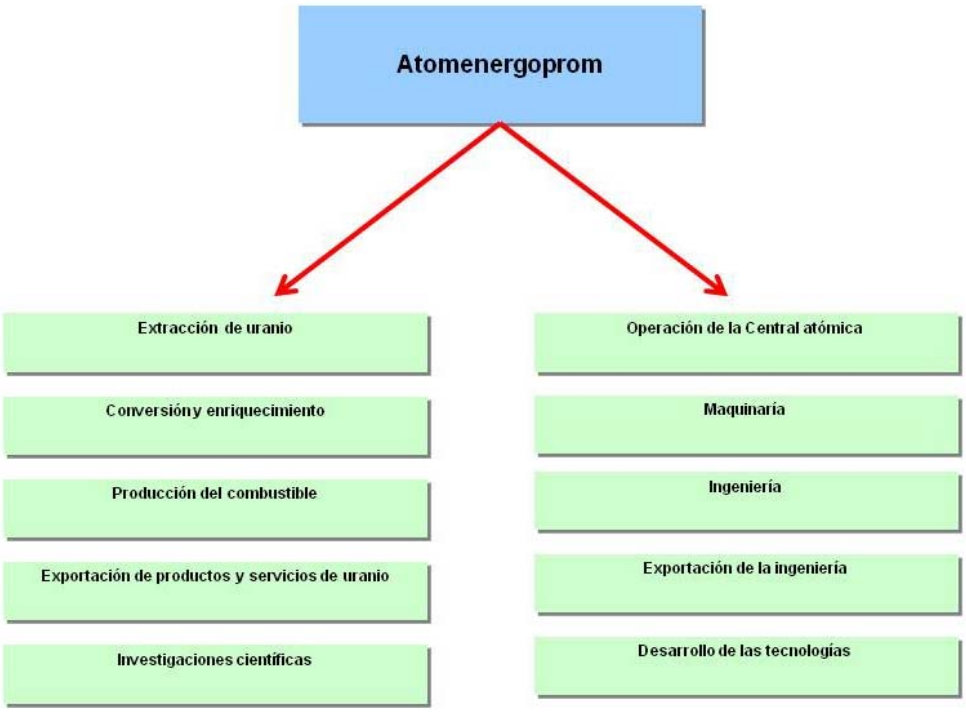


Figura 5.5 *Principales actividades del Holding Atomenergoprom.*

La Figura 5.6 presenta un diagrama de las actividades de Rosenergoatom.

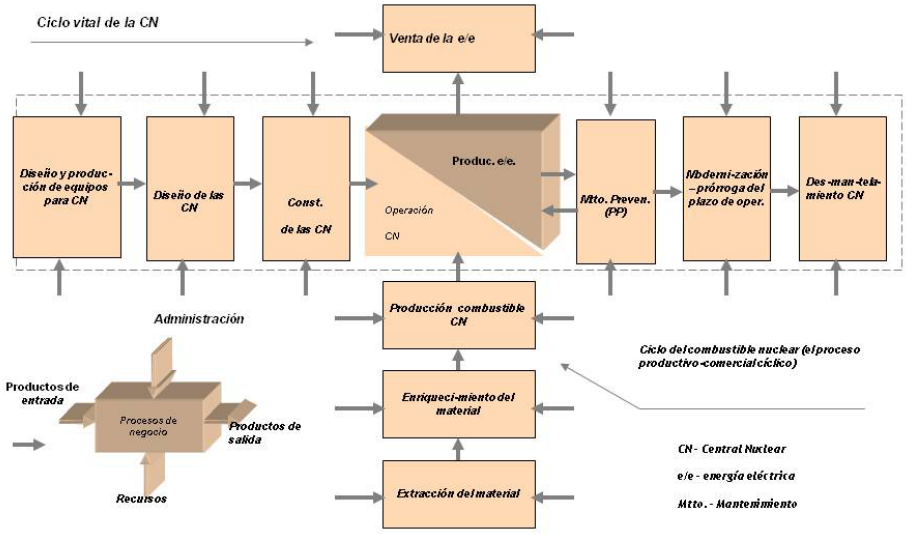


Figura 5.6 *Actividades de Rosenergoatom.*

De acuerdo con la actual legislación rusa, la responsabilidad de ROSENERGOATOM, además de administrar las centrales nucleares rusas, es garantizar la seguridad en todas las etapas del ciclo de producción de cada central nuclear, condición básica y necesaria para la validez de la licencia de la que actualmente disponen cada una de las centrales en operación.

5.7.2. La Autoridad Reguladora de Rusia

En Rusia las funciones de control de la energía nuclear (Autoridad Reguladora Nacional) las ejecuta la Agencia Federal de Control Nuclear (AFCN), organismo autónomo subordinado exclusivamente al Presidente del país, por lo que, de acuerdo a la legislación rusa, ningún organismo privado o estatal puede interferir con su actividad y toma de decisiones en materia de seguridad nuclear y otorgamiento de las licencias. Tales decisiones son definitivas y tampoco pueden ser impugnadas por ningún otro órgano del Estado.

Las reglas generales de la organización de la actividad de la AFCN están definidas por el "Reglamento de la Agencia Federal de Control Ecológico, Tecnológico y Nuclear"[108]. La Figura 5.7 explica la estructura orgánica de la AFCN.

[108] Reglamento sobre el Servicio Federal de Vigilancia Ecológica, Tecnológica y Atómica, aprobado por el Gobierno de la Federación de Rusia de 30.07.2004 No. 401 (Sistema GARANT 2009).

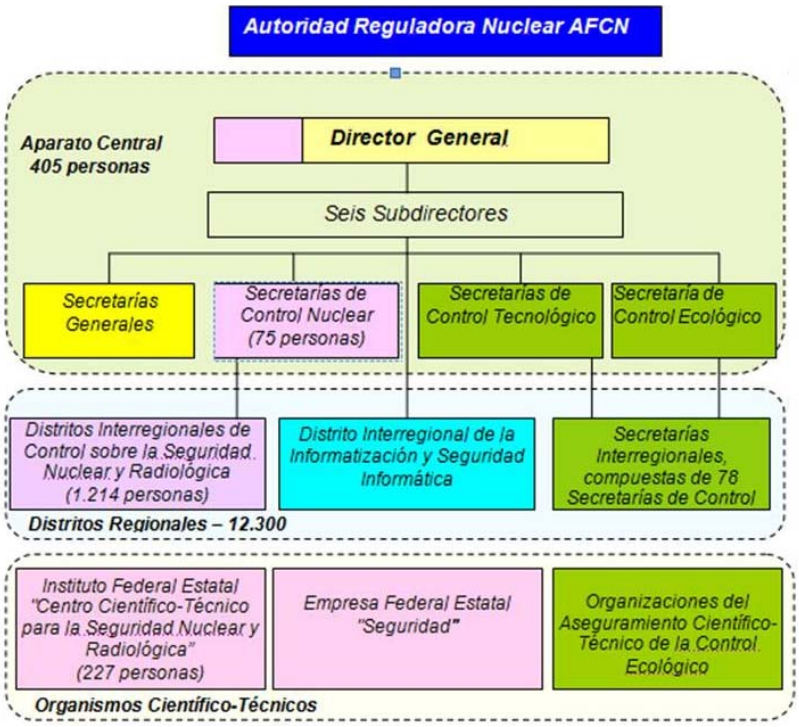


Figura 5.7 - *Estructura orgánica de la AFCN.*

Como cualquier entidad, la Autoridad Reguladora incurre en gastos para el desarrollo de sus funciones que están directamente vinculadas con el control de la seguridad de las instalaciones nucleares. Uno de los mecanismos estatuidos, que garantizan la independencia del funcionamiento de las entidades de vigilancia, es el establecimiento jurídico de un financiamiento de su actividad a través del presupuesto federal. La dinámica de este financiamiento para la AFV se recoge en la Figura 5.8 para el periodo 2005-2007.

Los montos en particular para cualquier Autoridad Reguladora estará en dependencia de la magnitud del programa que se desarrolle en una país particular que en el caso de la Federación de Rusia no debe ser comparable con el posible financiamiento que sería necesario para una autoridad de este tipo en el caso de Chile pues de desarrollarse un programa de este tipo los gastos serían menores teniendo que no serian programas del mismo alcance es decir, con un numero de centrales nucleares diferentes.

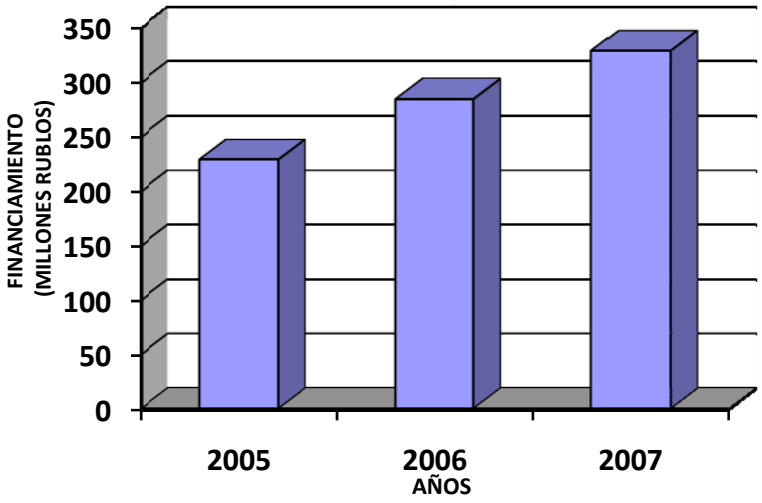


Figura 5.8 *– Financiamiento de la Autoridad Reguladora de la Federación de Rusia periodo 2005-2007.*

5.7.3. Otorgamiento de licencias en Rusia

La Agencia Federal de Control Nuclear (AFCN) es la única institución autorizada para emitir licencias que, al igual que en el resto de los países, esta es intransferible y se adjudica a la entidad operadora de la central nuclear.

La solicitud de la licencia debe estar acompañada por una serie de documentos que brindan toda la información establecida en el reglamento y que está vinculada a cada etapa del ciclo de vida de la central nuclear, fundamentando la seguridad nuclear y radiológica de la instalación.

Durante el proceso de revisión de la documentación entregada para la solicitud de la licencia, la AFCN lleva a cabo un proceso de verificación de la información entregada y se realizan experticias de los mismos para comprobar si garantizan adecuadamente la seguridad nuclear y radiológica del proyecto.

La entidad explotadora está en la obligación de entregar a la AFCN, durante el proceso de licenciamiento, toda la información técnica vinculada con la seguridad nuclear y radiológica de la central nuclear. Por otro lado, la AFCN tiene la facultad de suspender o anular la licencia expedida en caso de que:

- Exista una violación, por parte de la entidad operadora a las leyes federales u otros actos jurídicos en el ámbito del uso de la energía nuclear.

- El uso de información no veraz en los documentos presentados en la solicitud.

- Incumplimiento por parte de la entidad operadora, a las condiciones de vigencia de la licencia

- En caso de suspensión de la licencia, la entidad operadora no puede continuar operando la central hasta resolver el motivo de la sanción en los plazos que indican. La suspensión puede llegar a ser definitiva

5.7.4. Permisos y certificaciones para la ejecución de los trabajos en la central nuclear

Para realizar cualquier tipo de actividad en la central nuclear, la entidad explotadora debe recibir el permiso correspondiente del AFCN. La operadora debe "licenciar" a todos sus operadores con la AFCN. Se establece un listado de trabajadores de la central nuclear los que deben contar con los respectivos permisos de la Autoridad Reguladora Nuclear[109] para realizar sus labores profesionales en la central. Este listado se divide en 3 categorías: Cargos directivos, personal administrativo que controla la seguridad nuclear y radiológica, y el personal de operación.

Una condición importante exigida al personal para recibir el permiso es la ausencia de contraindicaciones médicas y psicofísicas para desempeñar determinada actividad, lo que será garantizado por el examen médico correspondiente.

5.7.5. Responsabilidades y obligaciones de la entidad explotadora

Como ya se ha mencionado, la entidad explotadora responde íntegramente por la seguridad de la central nuclear, así como por el manejo de los desechos radioactivos y los materiales nucleares. Si ocurriese un daño a un trabajador durante la ejecución de su trabajo, la

[109] Decreto del Gobierno de la Federación de Rusia de 3.03.1997 No. 240 "Sobre la confirmación de la lista de puestos de los empleados de los objetos del uso de la energía atómica, que deben recibir el permiso de la Agencia Federal de Vigilancia Ecológica, Tecnológica y Atómica para tener el derecho de trabajar en el terreno del uso de la energía atómica", Sistema "GARANT" 2009.

entidad explotadora indemnizará a los afectados, sea éste mortal o menoscabo a la salud de las personas como consecuencia de un accidente que haya provocado emisión de elementos radioactivos o tóxicos. El respaldo financiero para cubrir estos imprevistos se respaldan por seguros con garantías estatales tomadas por la entidad explotadora.

Por otro lado, la entidad explotadora debe garantizar la protección física de sus instalaciones. Este es un sistema complejo de planificación, control y ejecución de un conjunto de medidas técnicas y organizativas dirigidas a:

- Prevención en la entrada de personal no autorizadas al interior de la central nuclear, del acceso no autorizado de materiales nucleares y sustancias radioactivas y de la sustracción y robos de material nuclear.

- Detección oportuna de cualquier atentado a la integridad y buen estado de los materiales nucleares y sustancias radioactivas, así como la prevención de actos terroristas y de sabotaje que amenacen la seguridad de la central

- Recuperaciones oportunas de materiales nucleares y sustancias radioactivas sustraídas sin la debida autorización.

La protección física en estrecha coordinación de la entidad explotadora con los órganos de vigilancia y protección del gobierno, se realiza en todas las etapas del diseño, construcción, operación y desmantelamiento de la central nuclear, así como en la gestión de los materiales nucleares y sustancias radioactivas, incluyendo su transporte. La entidad explotadora es responsable en brindar una adecuada protección contra eventuales incendios de la central nuclear.

Esta protección física también involucra el garantizar el control de las radiaciones en la zona de “protección sanitaria” de la central nuclear y en la “zona de vigilancia” Bajo el termino de “zona de protección sanitaria” se entiende al territorio alrededor de la central nuclear en el que el nivel de la dosis de radiación durante la operación de la central, puede superar la dosis de radiación permitida a la población. En cambio la “zona de vigilancia” es un territorio fuera de la zona de “protección sanitaria” en la que se ejecuta permanentemente un control radiológico que sirve de muestra lo que está ocurriendo en la población.

La selección, entrenamiento y el aseguramiento del nivel profesional del personal que trabaja en la central nuclear, es también una responsabilidad de la entidad explotadora. La seguridad y eficiencia de la central nuclear se basa fundamentalmente en el factor humano

es decir, en el aseguramiento de la actividad profesional del personal que se refleja en la ausencia de incidentes que amenacen la seguridad radiológica.

Por último, cabe señalar que el aviso y la información oportuna a través de los medios masivos de comunicación de cualquier incidente a la población, también es una responsabilidad de las entidades explotadoras.

Conclusiones

Las normas legales, en cualquier ámbito y especialmente en relación a las actividades de una industria productiva, establecen los parámetros necesarios para su buen funcionamiento con miras a garantizar lo más importante para una sociedad: el bien común. Por su complejidad e importancia, la tecnología nuclear, tanto para la generación de electricidad como en su aspecto armamentista, está sujeta a una serie de regulaciones internacionales que a lo largo de los años han probado ser adecuadas para su normal desarrollo.

Es importante comprender esto sobre la base de hechos concretos, ya que mientras por un lado se cierne todo tipo de temores especulativos sobre la energía nuclear, lo cierto que durante las últimas décadas se ha ido configurando un marco legal, que en este estudio hemos llamado “derecho nuclear”, el cual ha demostrado que cubre de manera eficiente y detallada cada aspecto de la industria, teniendo especial cuidado con todo lo relacionado a la seguridad y las amenazas externas que podrían influir negativamente en la proliferación de armamentos. Así, hemos sido testigos afortunados de como la investigación científica y el desarrollo tecnológico han dejado en el pasado los tristes recuerdos de los accidentes de Three Mile Island y Chernobyl, del mismo modo que eventuales incidentes relacionados con el terrorismo, como el tráfico de material nuclear o el robo de elementos radioactivos, subsisten en las ficciones literarias o cinematográficas sobre la guerra fría del siglo pasado, sin que se hayan registrado casos reales de importancia. En esto, sin duda, tiene capital relevancia el marco regulatorio con que cuenta la industria, capaz de prevenir y disuadir con éxito la ocurrencia de problemas de este tipo.

La legislación también regula el desenvolvimiento normal de la industria, estableciendo el correcto desempeño, tanto de los operadores de la central nuclear como de sus trabajadores y las autoridades que han de supervisar sus actividades, contando para ello con una completa y eficiente jurisprudencia internacional.

La colaboración entre las naciones, en esta materia específica del Derecho Nuclear, ha transcurrido de manera exitosa durante décadas, a pesar de la intrincada maraña de aspectos relacionados que sobrepasan las fronteras sociales, culturales y económicas. Ciertamente la industria nuclear ha probado tener mayor capacidad de entendimiento y de trabajar en equipo que cualquier otra industria, contando con altísimos grados de consenso y respeto de los acuerdos internacionales que son garantía de seguridad y eficiencia.

Sin embargo, no podemos desconocer que los desafíos futuros se presenta aún más complejos y desconocidos, producto principalmente de la crisis energética global y los problemas medioambientales que afectan al mundo, por lo que fortalecer esta institucionalidad es una tarea que no admite descanso, al contrario, demanda toda la atención posible.

A partir de lo señalado con anterioridad, queda evidente que el desarrollo de un programa nuclear de un país que opte por esta variante para diversificar su matriz energética, tiene un impacto sobre todo el sistema institucional por la necesidad de darle solución a los problemas antes enunciados y que parte por la creación y organización de la Autoridad Nacional Reguladora Nuclear.

Este impacto, que originará la forma en que el Estado/Gobierno dirigirá y controlará un programa de este tipo, puede constituir parte de las medidas que se analizan para modernizar las estructuras del Poder Ejecutivo de Chile. Su ejecución no depende necesariamente de una decisión previa por la opción nucleoeléctrica sino forma parte de un proceso de estar listo en el momento oportuno para iniciar en tiempo el desarrollo del programa nuclear si se decide por él.

De no tomarse las medidas correspondientes en tiempo, se correrá el riesgo de que el Poder Legislativo y Ejecutivo del país no esté en condiciones de enfrentar un programa de este tipo en el evento que la decisión sea favorable a la energía nuclear, lo que puede construir una barreras para el desarrollo de esta alternativa y provocará demoras que tendrán un incidencia económica y social al no contar en el momento oportuno con la energía proyectada para el cubrimiento de la demanda.

En este contexto, para naciones como Chile -que aspira y cuenta con importantes ventajas y argumentos para ingresar al grupo de países desarrollados- incorporar a su legislación un "Marco Regulatorio Nuclear" en forma anticipada a la decisión que algún día se tomará, sea esta favorable o contraria a esta opción; se presenta como una oportunidad estratégica para su desarrollo, no solo por la posibilidad de incorporar la tecnología nuclear en su matriz energética, sino también de cara a los imperativos de la sociedad global que exige estar al día en todas las leyes que regulan aspectos de seguridad de aquellas tecnologías que relacionan unos países con otros, como ha quedado demostrado, con la tecnología nuclear.

Bibliografía

5.1.- Convención sobre Seguridad Nuclear, INFCIRC/449, OIEA, 5 julio 1994.

5.2.- Convención sobre la protección física de los materiales nucleares, INFCIR/274 Rev. 1 OIEA, Mayo 1998.

5.3.- Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares, INFCIRC/335, OIEA, Septiembre 1986.

5.4.- Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica, INFCIRC/336, OIEA, Noviembre 1998.

5.5.- Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado Enero 1998.

5.6.- Ley Federal "Sobre el Uso de la Energía Atómica" de 21.11.2005, No. 170-LF, (Sistema GARANT 2009.

5.7.- Ley Federal "Sobre la Corporación Estatal de Energía Atómica "Rosátom" de 01.12.1996 No 317- LF, (Sistema GARANT 2009).

5.8.- Reglamento sobre el Servicio Federal de Vigilancia Ecológica, Tecnológica y Atómica, aprobado por el Gobierno de la Federación de Rusia de 30.07.2004 No. 401 (Sistema GARANT 2009)

5.9.- Decreto del Gobierno de la Federación de Rusia de 3.03.1997 No. 240 "Sobre la confirmación de la lista de puestos de los empleados de los objetos del uso de la energía atómica, que deben recibir el permiso de la Agencia Federal de Vigilancia Ecológica, Tecnológica y Atómica para tener el derecho de trabajar en el terreno del uso de la energía atómica", Sistema "GARANT" 2009.

5.10.- Normas y reglas higiénicas 2.6.1.24-03 "Reglas higiénicas de diseño y explotación de las centrales nucleares", aprobadas por el Inspector Jefe Estatal de Sanidad de la Federación de Rusia de 22.04.2003.

5.11.- A. M. Agápov, G.A. Nóvikov, A. I. Iorysh, O.A. Suptáyeva, Sobre la existencia del derecho nuclear y la elaboración del Proyecto Legislativo "Sobre el licenciamiento de la actitud en el terreno del uso de la energía nuclear", www.proatom.ru.

Parte II

Impactos y riesgos de la generación núcleo-eléctrica

La segunda parte del estudio se ha estructurado en 5 capítulos. El primero de ellos describe los diferentes aspectos que hay que tener en cuenta, de acuerdo con las normas y regulaciones de carácter internacional establecidas para ello, durante el proceso que se lleva a cabo para la selección de la ubicación de la central nuclear, así como las características que deben ser evaluadas durante las investigaciones que se llevan a cabo en este proceso y por último, la utilización del terreno por este tipo de generación y su comparación con las otras fuentes de energías acordadas para este estudio. En el capitulo siguiente se efectúa un análisis comparativo de los diferentes impactos que tiene la generación núcleo eléctrica y su comparación con las fuentes de energía fósiles (petróleo, gas, carbón), la energía hidráulica y las energías renovables no convencionales (eólica y solar). El tercero aborda los aspectos económicos relacionados con la generación de electricidad y la comparación del costo del KW instalado y el costo unitario de generación (KWh) de las diferentes fuentes de energía analizadas en el estudio, así como el análisis de diferentes riesgos de la generación nucleoeléctrica. La problemática de los recursos humanos para el desarrollo de un programa de generación núcleo eléctrica se aborda en el siguiente capítulo para pasar posteriormente a los aspectos sociales relacionados con este programa. En el último capítulo de esta segunda parte del estudio se recogen los diferentes riesgos que han sido señalados a lo largo del estudio para un programa nuclear, así como se analizan otros que también son de importancia que deben tenerse en cuenta.

Capítulo 6

Selección del Emplazamiento

6.1. Etapas y criterios[110, 111, 112]

Tomando en consideración el impacto en la economía de una región que generan las obras relacionadas con el emplazamiento y puesta en marcha de una central nuclear, se deduce que los estudios relativos a la localización y selección del lugar apropiado reviste una importancia fundamental. Por ello, el estudio de localización debe realizarse en forma metódica y sistémica: primero, considerando todos los factores involucrados, y segundo, evaluando y estudiando los factores asociados, su complementación e interacción simultanea.

Un estudio de emplazamiento para nuevas centrales nucleares tiene además otras múltiples dimensiones que se deben analizar, especialmente cuando se trata de una obra de envergadura en que las condiciones ambientales influyen fuertemente en las inversiones a realizar y el impacto socioeconómico en la región, que sin duda es enorme.

En los años 60 y 70, al inicio del "boom" de la actividad nuclear, la seguridad se enfocaba principalmente al diseño y operación de las centrales nucleares, mientras que los estudios de localización se realizaban teniendo en cuenta más bien criterios geoestratégicos, técnicos y económicos por sobre los de seguridad. No se analizaba en profundidad las características de los emplazamientos que influían directamente sobre el diseño final de la central nuclear, como por ejemplo las condiciones sísmicas, la probabilidad de

[110] Código sobre la seguridad de las centrales nucleares: Emplazamiento, 50-C-S, OIEA, Viena, 1989.

[111] Basic safety principles for nuclear power plants: 75-INSAG-3 rev. 1(INSAG-12), Report by the International Nuclear Safety Advisory Group, IAEA, Vienna, 1999.

[112] Site evaluation for nuclear installations: safety requirements NS-R-3, IAEA, Vienna, 2003.

inundaciones, la adecuación de los materiales superficiales, etc. Los análisis del emplazamiento de esa época no se diferenciaban profundamente de lo que una central convencional requería.

En los 80, debido a las consecuencias del accidente de la Central Three Mile Island en los Estados Unidos, y a la madurez de la industria nuclear en países desarrollados y a la posibilidad de incrementar el mercado nuclear con la exportación de esta tecnología a países en desarrollo, el OIEA, por ser el organismo regulador de los usos pacíficos de la energía nuclear a nivel mundial, decide encarar un programa de normas para la industria nuclear, donde se pone énfasis en la seguridad. Así nacen los Códigos de Práctica y Guías de Seguridad.

Estas guías tienen cinco objetivos que abarcan todo el espectro del desarrollo y mantención de la industria nuclear:

- Marco Regulatorio
- Emplazamiento
- Licenciamiento (Tecnología)
- Garantía de calidad
- Normas de seguridad

Estos 5 códigos establecen los objetivos y requerimientos básicos que hay que cumplir para conseguir una adecuada seguridad en el funcionamiento de las centrales nucleares.

En lo referido a la localización, las guías del OIEA establecen la seguridad como requisito indispensable para la elección del emplazamiento y, en segundo lugar, los condicionamientos geopolíticos o económicos. El principal objetivo consiste en definir los parámetros para la protección de la población y el medioambiente frente a repercusiones radiológicas resultantes de eventuales fugas accidentales de radioactividad. Según estas guías, para determinar si un emplazamiento resulta idóneo se deben analizar en primer lugar todos aquellos efectos eventuales que puedan afectar a la seguridad del emplazamiento, tales como los efectos naturales (terremotos, tsunamis, inundaciones, etc.) y los efectos generados por la actividad humana (represas, fabricas peligrosas, etc.). Con posterioridad se deben estudiar las características del lugar y los alrededores que puedan influir en como se dispersan los materiales radioactivos en una eventual fuga radioactiva, analizar los vientos dominantes y las poblaciones ubicadas en la dirección del viento (a

barlovento del emplazamiento). También se debe analizar la densidad y distribución de la población del sector para eventuales planes de evacuación. En resumen, evaluar en detalle el riesgo para los individuos y la población ante una posible avería de la central nuclear que signifique fuga radioactiva al ambiente.

Además de exponer los criterios que se recomiendan para la selección del emplazamiento de centrales nucleares, los códigos del OIEA también recomiendan determinadas técnicas para realizar el estudio de cada una de estas variables y establecen pautas de procedimiento, a fin de que se asegure la calidad del trabajo realizado.

El accidente de Chernobyl, en el año 1986, puso en situación crítica a la industria nuclear. Este accidente creó una conciencia negativa en la sociedad acerca de los riesgos que podía implicar esta tecnología en general. Al mismo tiempo y en relación directa con él precedente negativo sentado luego de Chernobyl, comenzó a plantearse el concepto NIMBY (not in my backyard: no en mi patio trasero), que cuestionaba la instalación de la industria nuclear por cuanto supuestamente afectaba el entorno en que viven las personas. Del mismo modo, con una mayor conciencia pública respecto del medioambiente, los países más desarrollados, como Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Rusia, crearon normativas específicas sobre el impacto negativo que produce la industria sobre el medioambiente, regulando las instalación de nuevas construcciones de cualquier industria de gran envergadura y especialmente supeditando la instalación de las centrales nucleares a estrictos estudios de impacto ambiental sobre la región en cuestión. Esto dio una nueva dimensión a los estudios de emplazamiento y le sumó a la seguridad de la tecnología empleada, el cuidado y respeto por el medioambiente.

Esto generó la paralización de nuevos proyectos, incluso, detención de centrales en funcionamiento (Alemania). Este planteamiento, que surgió en algunos países desarrollados en los años 80, no consideraba que las sociedades para continuar su proceso de crecimiento y desarrollo, necesitaban disponer de energía abundante a valores razonables y estables. No quisieron en definitiva esos países pagar el costo político que significaba en esa época aceptar el uso de la energía nuclear. Esta postura fue copiada en gran medida también por los países en vías de desarrollo.

Esta política energética generó un inusitado impulso al uso del carbón como la forma más barata y rentable para continuar con los consumos de energía que los países requerían. No se tomaron en cuenta los efectos negativos al medioambiente generado por el material particulado que emiten las chimeneas de centrales a carbón y menos aún se tomó en cuenta el “efecto invernadero” sobre el clima que provoca esa forma de generar energía.

A fines de la época de los 90, esta concepción negativa sobre la industria nuclear, comienza gradualmente a cambiar, especialmente por la alerta que algunos científicos enunciaron respecto al cambio climático que provocaban las emisiones de carbono proveniente del consumo de combustibles fósiles.

El Comité INSAG (International Safety Nuclear Advisory Group) formaliza los nuevos enunciados de la seguridad nuclear, centrando el principio de "seguridad a las personas" como un aspecto básico a cumplir para los nuevos proyectos nucleares que comenzaron a prepararse. Y uno de los más importantes, según INSAG es la "adecuada selección del emplazamiento", por cuanto si se presta adecuada atención a esa etapa, y se cumplen estrictamente todas las recomendaciones de INSAG, se pueden minimizar una parte importante de los riesgos de esta industria.

En lo referido al emplazamiento de las centrales nucleares, el documento INSAG-12 destaca que la preferencia por uno u otro sitio influye decisivamente en la seguridad de la central. La correcta elección debe responder a un balance de factores que se complementan, tales como los económicos, la aceptación del público y la seguridad. También menciona que tienen que preverse los cambios futuros que pudieran ocurrir en el emplazamiento durante toda la vida útil de la instalación.

Posteriormente el OIEA en el año 2003 hace una revisión de sus manuales teniendo en cuenta todos los principios y avances que se produjeron en el ámbito del conocimiento científico y tecnológico. En esta revisión (serie NS-R-3) se introducen nuevas recomendaciones al proceso de selección del emplazamiento, confirmando a este procedimiento como la tarea más importante para iniciar un proyecto nuclear.

6.2. Metodología para la Selección del Emplazamiento[113]

La complejidad de un proyecto de esta naturaleza hace necesaria una metodología flexible y generalista en un inicio, para después ajustarse a exigentes parámetros de seguridad que determinarán el emplazamiento definitivo para una central nuclear.

La cantidad de datos necesarios en un proceso de selección aumentan a medida que avanza el estudio de emplazamientos. Esto lleva a la necesidad de contar en etapas avanzadas, con un equipo de expertos en las diferentes disciplinas en las que se centrará el estudio. El

[113] Ídem 109-111

estudio y evaluación de los emplazamientos de centrales nucleares involucra las siguientes etapas conforme a la Guía NS-R-3 del OIEA.

6.2.1. Selección¡Error! Marcador no definido.

En esta etapa se realiza una investigación sobre una gran región en base a criterios simples y bien definidos. El objetivo general es obtener una representación completa de las diferentes zonas de la región para continuar el proceso de selección. Se utiliza información existente y disponible sobre algunas de las características necesarias de los emplazamientos para eliminar extensos territorios de la región de estudio de toda consideración.

El resultado de este proceso será un número considerable de emplazamientos potenciales, englobados en diferentes zonas aptas para la instalación. Se crea un catastro de todos aquellos posibles sectores en un país donde eventualmente se podrían instalar centrales nucleares, el cual se hace considerando los puntos geográficos que requieren de energía y aquellos que a priori reúnen las condiciones (por ejemplo, que tengan disponibilidad de agua, baja densidad poblacional, altos requerimientos de energía, etc.). Sobre la base del catastro se elige los sitios de interés sobre los cuales habría voluntad de iniciar un proyecto de generación núcleo-eléctrica. Solo en esta etapa pueden primar los aspectos estratégicos y económicos que siempre exige el inversionista. En términos generales se consideran los siguientes aspectos en esta etapa:

- Disponibilidad de agua.
- Distancia respecto a los centros a los cuales va destinada la energía eléctrica.
- Densidad poblacional de la zona.
- Las características naturales de la región que puedan contribuir a un adecuado depósito de sustancias radioactivas.
- Grado de dificultad para la ejecución de medidas ingeniero-técnicas necesarias por el desarrollo del proyecto.

6.2.2. Etapa de Caracterización

Esta etapa supone el estudio e investigación de los emplazamientos seleccionados en la etapa anterior para demostrar que son aceptables desde varios puntos de vista, en particular desde la seguridad. Se seleccionan todos aquellos sitios que reúnen las condiciones para la instalación de la central nuclear.

Para la selección final del sitio resulta importante considerar el acceso a los mercados energéticos, los planes de desarrollo de la región, el consentimiento de la población y el entorno político e institucional que acompaña a la decisión del emplazamiento de la central nuclear.

Un sitio será seleccionado si primero cumple con todos los requisitos relativos a la seguridad y luego si es preferido respecto a otros sitios en cuanto a los requisitos no relacionados con la seguridad.

Para llevar a cabo la selección final, es preciso disponer de la siguiente información:

- Características geológicas del sector.
- Características meteorológicas.
- Urbanización.
- Población, dinámica, densidad y su composición demográfica.
- Ciudades más cercanas y sus características.
- La estructura del Producto Regional Bruto y su dinámica.
- Balance energético de la zona y su potencia instalada.
- Información financiera respecto del desarrollo de la industria y la agricultura y su pronóstico futuro.
- Información respecto del mercado de consumo y su potencial en la región.
- Determinar aquellos factores sobre los cuales depende el desarrollo socioeconómico de la región.
- Determinar aquellos aspectos sociales, costumbre locales y educación que influyen en el comportamiento de la población.

En esta etapa queda seleccionada la ubicación definitiva del emplazamiento sobre el cual posteriormente se solicitarán los permisos respectivos a las autoridades correspondientes.

6.2.3. Etapa Pre operacional

Una vez seleccionado el emplazamiento, comienzan los trámites de solicitud de los permisos para construir una central nuclear de acuerdo al proyecto desarrollado por el inversionista. Esta solicitud es remitida a las autoridades ambientales de la región y a la Autoridad Nacional Regulatoria Nuclear. No obstante lo anterior, los estudios e investigaciones iniciados en etapas anteriores continúan perfeccionándose en el emplazamiento seleccionado. Esto sirve para completar y corregir la evaluación de las características del sitio. Los datos que se van obteniendo, permiten también completar la evaluación final del modelo a usar en el diseño de la central proyectada.

6.2.4. Etapa Operacional

Esta etapa corresponde al inicio de las obras de construcción una vez aprobado el proyecto por las autoridades ambientales y de Regulación y obtenido la debida Licencia para iniciar la construcción. Sin embargo, el estudio del emplazamiento continúa, incluso, cuando la central entra en operación. En realidad estos estudios continúan a lo largo de todo el ciclo de vida de la central. Esto permite monitorear algunas características que evolucionan con el paso del tiempo, como por ejemplo las condiciones demográficas en las cercanías de la central, las condiciones geológicas del suelo, las condiciones meteorológicas, etc., lo cual asegura ajustar a tiempo los mecanismos de seguridad diseñados ante cualquier cambio detectado.

6.3. Características de los emplazamientos relacionadas con la seguridad y no relacionadas con la seguridad

A lo largo de todo el estudio se revisan diferentes características de los emplazamientos. Se pueden distinguir al principio entre las relacionadas con la seguridad y las no relacionadas con la seguridad, teniendo siempre presente que es una definición arbitraria. Estas características y sus interrelaciones se pueden observar en las Figuras 6.1 y 6.2.

6.3.1. Características relacionadas con la seguridad

Estas características se pueden agrupar en 3 grandes grupos:

- **Físicas:** corresponden a las características del sitio que tendrán un impacto directo sobre la seguridad de la central, entre ellos se puede destacar la sismicidad de la zona, la capa superficial del terreno, los suelos, la actividad volcánica y el sumidero final de calor (en caso de Chile, lo lógico es que el sumidero sea el mar)

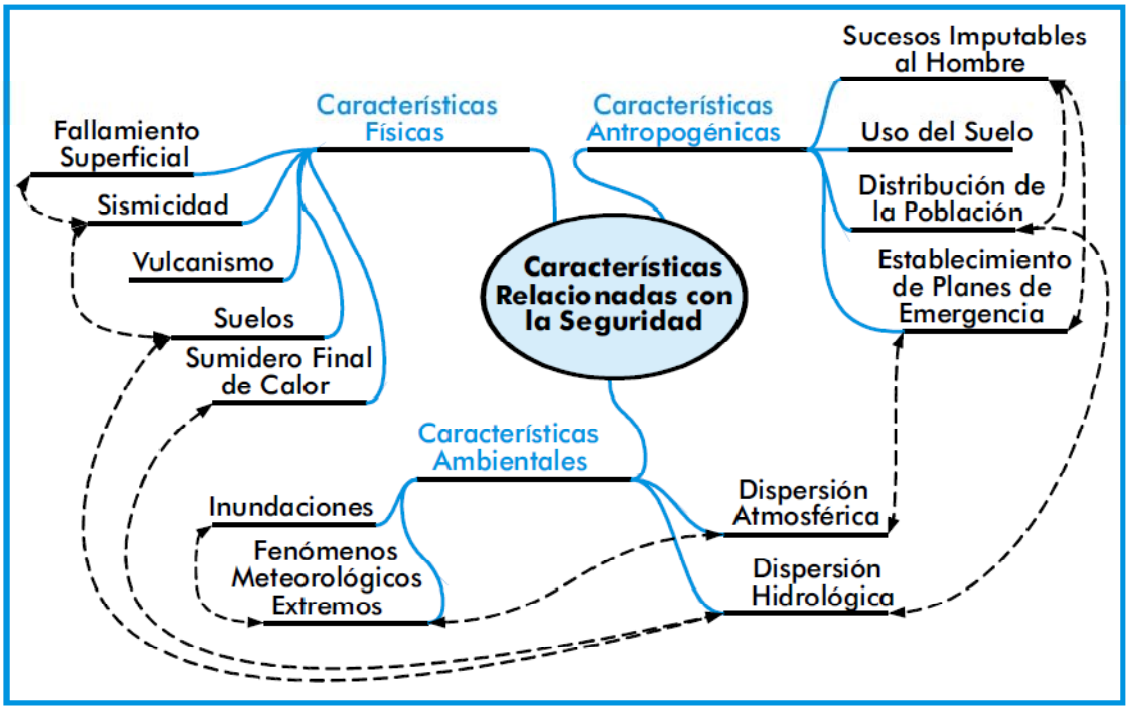


Figura 6.1 *Características relacionadas con la seguridad y su interrelación*

- **Antropogénicas:** corresponden a las actividades que lleva a cabo el ser humano en la zona, uso que se le da al suelo, distribución de la población y el establecimiento de planes de emergencia.

- **Ambientales:** están relacionadas con los fenómenos meteorológicos, los vientos predominantes, la posibilidad de inundaciones y las formas de dispersión de eventuales fugas.

Las características relacionadas con la seguridad establecerán la viabilidad para la instalación de una central nuclear en un emplazamiento determinado, mientras que las características no relacionadas con la seguridad darán el emplazamiento óptimo de acuerdo a los criterios de desarrollo que se sigan. Cabe destacar que en un sitio que no cumpla con las características relacionadas con la seguridad y que no puede ser compensado mediante características de diseño, será excluido de toda consideración.

El objetivo principal de la evaluación de los sitios en términos de seguridad nuclear es el de proteger a la población y al ambiente de las consecuencias radiológicas por eventuales fugas accidentales de radioactividad. Se deben tener en cuenta:

- Efectos de eventos externos que pueden afectar la seguridad.
- Características del sitio y su ambiente que podrían influir en su instalación.
- Características demográficas de la zona, y la implementación de medidas de emergencia.

Además de proveer la base técnica para los informes de seguridad –a ser remitidos a la Autoridad Regulatoria Nuclear-, la información obtenida permite realizar la evaluación de impacto ambiental sobre al riesgo radiológico.

6.3.2. Criterios a considerar no relacionados a la seguridad

Básicamente son:

- **Criterios económicos:** son aquellos costos que influyen directamente sobre la inversión a realizar y los costos de operación y mantenimiento. Entre ellos se puede citar la distancia a la red de distribución eléctrica, la distancia a las vías de transporte, el sistema de refrigeración que se utilizará (refrigeración de “paso único”, con “torres de enfriamiento” o mixto).
- **Criterios sociales y legales:** están relacionados a la legislación vigente, a la formación de recursos humanos y al uso del suelo que se le da a la zona donde se emplazará la central.

- **Criterios ambientales:** estos criterios son todos aquellos que están relacionados con los posibles impactos ambientales que ocasionará la futura instalación y la mitigación y control de los mismos.

Son claras las interrelaciones que se dan entre las características relacionadas con la seguridad y las no relacionadas con la seguridad. Si por ejemplo se elige que el tipo de refrigeración de la central sea de paso único, esto influirá directamente en la localización de la central, los análisis de dispersión hidrológica, el estudio del sumidero final de calor y los impactos ambientales que se deberán estudiar.

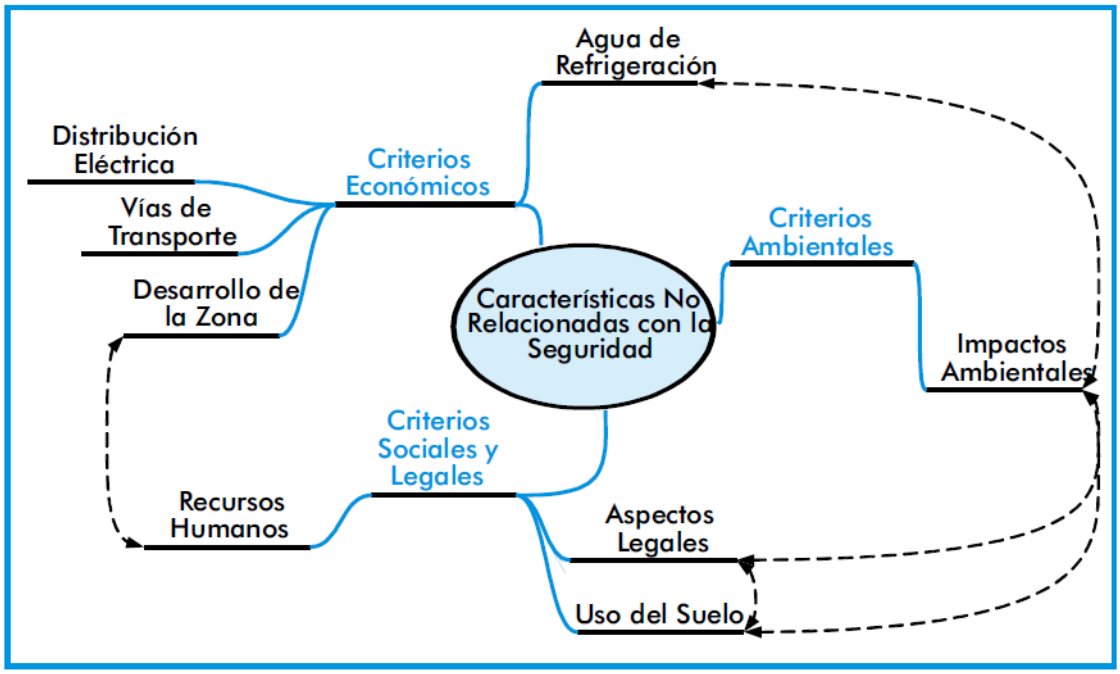


***Figura 6.2**. Caracterización de los emplazamientos no relacionados con la seguridad.*

6.4. Factores socioeconómicos a considerar

6.4.1. Red de distribución eléctrica

La distancia entre la central generadora y los potenciales consumidores, y la presencia de infraestructura adecuada de una red de distribución, determinan el esquema final de distribución desde la central nuclear hacia los consumidores. Un criterio importante a tener en cuenta para la selección del emplazamiento, es la presencia o ausencia de una adecuada red eléctrica a fin de no entrar en grandes gastos para asegurar la distribución eléctrica.

6.4.2. Condiciones de transporte

La existencia de vías férreas, carreteras, vías fluviales o marítimas, cerca del emplazamiento permitirá reducir los gastos de construcción de la infraestructura vial que se requiere para transportar hacia el emplazamiento todos los elementos que componen una central nuclear, desde el reactor, turbinas, etc. Muchos de ellos constituyen piezas de gran tamaño, por lo tanto hay que considerar este aspecto para la logística del transporte durante la etapa de construcción de la central y también durante todo su período de operación.

6.4.3. Condiciones sociales

La ubicación del emplazamiento de la central nuclear cerca de las localidades de una ciudad o poblado, permitirá reducir los gastos para la construcción de viviendas e infraestructura social para los trabajadores vinculados a la construcción y operación de la central nuclear. Esto permitirá elevar el nivel de adaptación de las familias de los trabajadores de la central nuclear. En caso contrario hay que considerar la creación de un poblado en campo abierto para asegurar las condiciones sociales del personal.

La presencia de centros de poblado cerca del emplazamiento de la central nuclear permite utilizar el vapor resultante de la operación para calefacción de la población o para desalinizar agua de mar, provocando con ello un efecto socioeconómico adicional.

6.4.4. Información respecto a la región

La existencia de estudios e investigaciones ingenieriles realizadas en los emplazamientos seleccionados permite reducir los plazos de las investigaciones de ingeniería y de la preparación del terreno para la construcción, aumentando la exactitud de los cálculos preliminares realizados y reduciendo las inversiones que se requieren en esa etapa.

6.5. Factores naturales que limitan la elección de un emplazamiento

Desde el punto de vista de factores naturales que influyen en la decisión de elegir un emplazamiento, hay dos criterios básicos a considerar:

6.5.1. Los factores que prohíben

6.5.1.1. Agua

Si no hay agua, sea esta dulce o salada, no se puede construir una central nuclear.

6.5.1.2. Geológicos

Bajo ninguna circunstancia se debe construir una central nuclear en un emplazamiento cuyo terreno tenga fallas geológicas activas. Se trata de uno de los factores que requiere mayor cuidado, planificación e inyección de recursos para los estudios respectivos, que en promedio no toman menos de 12 meses de desarrollo. Si bien la tecnología moderna ha sido capaz de desarrollar sistemas de seguridad activa y pasiva capaces de enfrentar con éxito cataclismos naturales de cuya magnitud no se tiene registro histórico, así como accidentes o atentados terroristas, la prudencia aconseja desestimar posibles emplazamientos ubicados sobre fallas geológicas activas, calidad inadecuada del suelo u otros similares. Para ello es necesario realizar mediciones que consisten básicamente en colocar sensores especiales en el sitio elegido y monitorear la actividad geológica y sísmica por medio de la detección, registro y análisis de las vibraciones del suelo.

6.5.2. Los factores que limitan

Son aquellos factores naturales que eventualmente pueden limitar pero no impedir la construcción de una central nuclear. Esto significa que para llevar a cabo el proyecto propuesto, en este contexto se ha de considerar el uso de tecnologías adicionales que habitualmente encarecen el presupuesto inicialmente definido. De la lista de factores naturales que limitan en la selección del emplazamiento se distinguen las condiciones sísmicas e hídricas.

6.5.2.1. La sismicidad[114]

Aquellos sectores cuya sismicidad es igual o superior a 7 puntos en la escala MSK, son considerados como un factor limitante para seleccionarlos como emplazamiento. Sin embargo la factibilidad de iniciar un proyecto nuclear en tales regiones es enteramente

[114] Apreciación del peligro sísmico de las partes de la instalación de las instalaciones nucleares y los de peligro radiacional en razón de los datos geodinámicos, Norma RB-019-01, Academia de Ciencias Estatal de Rusia, M. 2001.

posible, pero exigirá el uso de tecnología especial, construcción de edificios y el uso de equipamiento con requerimientos anti-sísmicos. Esto conlleva al encarecimiento del proyecto en un 10% por cada punto de sismicidad a partir del grado 7 de la escala de MSK.

Si bien Chile es una de las naciones del mundo que cuyo territorio presenta mayor índice de actividad sísmica, su diversidad geográfica ofrece una serie de potenciales emplazamientos donde este riesgo no representa amenazas con la actual tecnología disponible y, por el contrario, ofrecen otras ventajas importantes para la planificación de un proyecto de estas características. Esto se ve en la zona norte desértica de Chile a orilla del océano pacífico, en donde la presencia de agua, requisito indispensable, es abundante; la baja densidad demográfica, significa un bajo impacto social al proyecto, y el suelo montañoso de la cordillera de la costa, permite la creación futura de efectivos y seguros depósitos finales de desechos radioactivos.

Sin embargo la alta actividad símica de Chile es tal vez el factor de riesgo más importante a la hora de analizar la opción nuclear. Siendo esta una materia en la que no existen más que aproximaciones, sobre la base de experiencias en lugares que no presentan índices como los de Chile, resulta interesante la opinión del Ingeniero civil geográfico chileno Rodolfo Godoy, quien señala:

"Chile es una de las tres naciones más sísmicas del mundo, de hecho es en nuestro país donde se ha experimentado el movimiento telúrico mas fuerte a nivel mundial desde que existen registros; el terremoto de Valdivia (año 1960), que tuvo una magnitud de 9.5 grados en la escala de Richter, es quien ostenta el triste record. Para tener una idea de lo que esto significa, hay que recordar el sismo del año 1985, que afecto principalmente a la regiones Quinta y Metropolitana, el cual "solo" registro 7.7 grados Richter; o él gran terremoto de junio del 2005 ocurrido en el norte grande, el cual anotó 7.9 grados en igual escala. (…) Otra de las naciones sísmicas que integran la lista es Japón, el cual es azotado por grandes terremotos con un promedio muy similar al de Chile. Sin embargo, la matriz energética de los japoneses es bastante distinta a la nuestra, ya que cuentan con 55 centrales nucleares en operación y una en construcción, con las que generan el 30% de la energía eléctrica que consumen.

La eficiencia de las estrictas normas internacionales bajo las que se construyen las centrales fue puesta a prueba en el gran terremoto de Kobe, ocurrido el año 1995. Ese día alrededor de 6.000 japoneses murieron, las vías quedaron destrozadas y exactamente 6.513 edificios fueron destruidos y otras innumerables construcciones quedaron con daños severos o menores. Debido a lo pequeño del territorio, 9 centrales nucleares se vieron directamente afectadas, en especial la que se encuentra instalada en las cercanías del puerto de Kobe; pero debido a las extremas medidas de seguridad con que se edifican, estas resultaron

absolutamente ilesas. Además, como medida de protección, sus reactores se detuvieron automáticamente y no sufrieron daño alguno.

Otro gran examen ocurrió el año 2007, cuando el territorio japonés se vio nuevamente azotado por un gran movimiento telúrico, evento que provocó la fisura en una de las piscinas que acumulan el agua radiactiva, mucho se especulo sobre este daño, llegándose a la conclusión, luego de acabados análisis, que la radiación emanada hacia el exterior fue 100 veces menor a la que recibe una persona cuando se somete a una radiografía.

Otro notable ejemplo de convivencia entre energía nuclear y regiones altamente sísmicas es Taiwán, quien con alta ocurrencia de fenómenos telúricos y es de un tamaño similar al de la VIII Región de Chile y posee 6 centrales nucleares.

Si bien la naturaleza es impredecible y en ocasiones altamente destructora, los ejemplos mundiales y los elevados estándares de seguridad internacional en construcción de centrales permiten responder positivamente una de las interrogantes planteada en Chile respecto a si se puede o no construir centrales nucleares de potencia.

6.5.2.2. Los recursos hídricos disponibles

Tal como se indicó anteriormente, uno de los criterios que limitan la elección de un emplazamiento definitivo es sin duda el hidrológico. Es de máxima prioridad garantizar el suministro permanente del volumen adecuado de agua para lograr una correcta refrigeración de la central nuclear.

Las necesidades de agua de una central nuclear dependen, en primer orden, de la elección que se realice del modo de refrigeración de los condensadores de la central nuclear (de paso, estanque de enfriamiento, torres de enfriamiento, enfriadores aéreos y radiadores, etc.).

El sistema más eficaz y seguro es el “de paso”. Se aplica para aquellas centrales ubicadas a orilla del mar o de grandes ríos. Sus ventajas radican en los bajos costos de construcción de obras y bajo costo de operación. Este sistema se utiliza ampliamente en países de Europa como Francia, Gran Bretaña, Suecia y Finlandia.

La necesidad de garantizar el abastecimiento de agua para una central nuclear, requiere también conocer en detalle los requerimientos de consumo, que están asociados a los siguientes sistemas de refrigeración propios de cualquier central nuclear:

- Sistema de refrigeración de los equipos de la turbina (condensadores de las turbinas y los consumidores auxiliares de la Sala de Máquinas), que absorben el calor de los condensadores y de la parte del equipamiento auxiliar.

- Sistema de refrigeración de los consumidores importantes de la central eléctrica de reserva diesel, que absorben el calor de los sistemas de seguridad de la sección del reactor.

- Sistema de refrigeración de los consumidores no importantes, que absorbe el calor del equipamiento auxiliar de la sala de máquinas de la sección del reactor y otros consumidores del área industrial de la central nuclear.

El gasto general del agua de refrigeración en todos los sistemas de refrigeración para una central nuclear de 1.000 MW es del orden de 4.400.000 m^3/24 horas.

Para la reposición de las pérdidas de agua en los sistemas de refrigeración por rotación (pérdidas por evaporización, arrastre y soplado) y el aseguramiento de las necesidades de agua técnica de la central (necesidad de la limpieza química del agua) está previsto un sistema para el suministro de agua técnica. Para asegurar el agua técnica se prevé un gasto de 0,8 – 1,2 m^3/s. por reactor. El consumo de agua de enfriamiento de una central nuclear con una potencia de 1.150 MW con refrigeración del sistema básico y auxiliar con torres de enfriamiento y de los consumidores importantes en piscinas con rociadores, se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1*. Consumo de agua de una central nuclear*[115]

Pérdidas	Unidad de Medida	Cantidad		Pérdidas medias-anuales
		En verano	En invierno	
Pérdidas en torres:				

[115] Informe técnico « Realización de las investigaciones de ingeniería con el objetivo de la preparación previa para el proyecto de la construcción de la central nuclear.

Pérdidas	Unidad de Medida	Cantidad		Pérdidas medias-anuales
		En verano	En invierno	
• 1 bloque energético	m^3/h	2.317	1.501	1.885
• 2 bloques energéticos	m^3/h	4.634	3.002	3.770
Pérdidas en piscinas rociaderas				
• 1 bloque energético	m^3/h	106	92	97
• 2 bloques energéticos	m^3/h	212	184	194
Consumidores de toda la central (para extinción de incendio y tratamiento de agua)				
• 1 bloque energético	m^3/h	105	105	105
• 2 bloques energéticos	m^3/h	210	210	210
Sistema de rotación de purga				
• 1 bloque energético	m^3/h	1.730	1.119	1.294
• 2 bloques energéticos	m^3/h	3.460	.238	2.588
Eliminación de aguas residuales:	m^3/h	115	115	115
• - 1 bloque energético	m^3/h	230	230	230
• 2 bloques energéticos				
Consumo total de agua:				

Pérdidas	Unidad de Medida	Cantidad		Pérdidas medias-anuales
		En verano	En invierno	
• **- 1 bloque energético** • **2 bloques energéticos**	**m^3/h** **m^3/h**	**4.373** **8.746**	**2.932** **5.864**	**3.496** **6.992**

6.6. La experiencia de la Federación de Rusia en la selección del emplazamiento

En Rusia los criterios a emplear para seleccionar un emplazamiento seguro son similares a lo ya descrito en el presente capítulo. Sin embargo dada la especial importancia que se le da en ese país al análisis de las condiciones naturales y tecnógenas del sitio, y Chile, por su condición de país altamente sísmico, es que a continuación detallamos los criterios a considerar por los que se rigen los especialistas antes de elegir el emplazamiento final. Estos criterios están regulados por 3 normas de la Autoridad Reguladora Nacional:

- NP-032-01 "Normas que determinan la ubicación de las centrales nucleares. Criterios y exigencias de garantías de seguridad";
- NP-031-01 "Normas para el diseño de las centrales nucleares sismo resistentes";
- NP-064-05 "Normas para garantizar acciones externas de origen natural y tecnógeno de la central nuclear".

Y los principales criterios utilizados que se desprenden de esas normas, son:

- características de la actividad tectónica de la región de ubicación de la central nuclear;
- ubicación de fracturas, rupturas, ante posibles terremotos;
- velocidades y gradientes de los movimientos de la corteza terrestre del sitio;
- las características de las vibraciones iníciales del terreno en el evento de un terremoto máximo;

- peligro de deslizamientos del suelo ante pendientes cercanas, considerando las condiciones del terreno y movimientos sísmicos considerando intensidad de terremoto grado 9 puntos en la escala de MSK;

- posibilidad del desarrollo de procesos cársicos (termocársicos), y de sufosión en la corteza;

- determinar la influencia en la seguridad de la central nuclear del aumento del nivel de las aguas subterráneas, y el sumergimiento del emplazamiento durante la difusión del caudal de aguas subterráneas, la filtración de las tierras irrigadas, escurrimientos de aguas, precipitaciones atmosféricas, el deshielo;

- intensidad de las tormentas y huracanes, valores máximos de velocidad de la rotación y de la velocidad progresiva de movimiento del vórtice, cambios de presión entre la periferia y el centro del embudo del vórtice;

- se determina el nivel máximo de agua a que puede llegar el sitio, y la duración de una posible inundación durante las precipitaciones, deshielo o tormenta;

- se evalúan las características de una eventual inundación a causa de un tsunami o al exceso de oleaje por tormentas teniendo en cuenta las condiciones sismo-técnicas, la configuración de la costa, los deslizamientos y el desmoronamiento de tierras al agua.

Conclusiones

El proceso de selección del emplazamiento para la construcción de una central nuclear, constituye un procedimiento complejo de valoración de diferentes variantes para su instalación. Si bien hay impactos inherentes al lugar mismo del emplazamiento, los cuales pueden ser menores y eventualmente subordinados al proyecto mismo gracias a los avances científicos y tecnológicos desarrollados durante las últimas décadas a partir de la experiencia recogida en los dos únicos accidentes registrados a la fecha, el factor más importante en esta materia es la elección apropiada del lugar, para lo cual se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Garantizar la seguridad nuclear y radiológica de las personas.
- Integración de la central nuclear a la red de transmisión de energía.
- Características geológicas, sísmicas y tectónicas del emplazamiento.
- Características hidrológicas y meteorológicas.
- Opinión pública.
- Aspectos socio-demográficos.
- La valoración de las consecuencias ambientales de la ejecución del proyecto.
- Infraestructura local disponible.
- Aspectos jurídicos, uso del suelo, etc.

La selección del emplazamiento debe ser hecha a partir de un análisis extenso y sistemático de todos los factores indicados arriba y su comparación objetiva para la selección de la variante más conveniente.

Es necesario destacar que todo proyecto de emplazamiento de una central nuclear ha de contar con la adecuada difusión a la población de sus características y ventajas sociales y económicas para la zona donde se realizará, dado que la oposición a priori de un sector de la sociedad, se debe básicamente a desinformación o publicidad contraria por parte de organizaciones antagónicas.

Determinar adecuadamente el emplazamiento de una central nuclear es sin duda el aspecto más crítico de la primera etapa del proyecto y está relacionado directamente con el mayor o menor riesgo de accidente que se tendrá a futuro. Si se cumplen todas las recomendaciones por parte del OIEA y la INSAG, el riesgo se minimiza, con lo cual, en esas circunstancias, al compararla con otras fuentes de energía limpia, como la hídrica, por ejemplo, los riesgos se hacen similares, por cuanto ambos sistemas son potencialmente peligrosos si sobreviene una catástrofe, la nuclear por fuga radioactiva que afecta a la salud humana y la hídrica por destrucción de la represa, que conlleva una destrucción masiva de aquellas poblaciones ubicadas en la dirección del río.

Comparar la energía nuclear con las fuentes eólicas y solares, consideramos que no tiene sentido, básicamente por la diferencia notable que hay en la cantidad de superficie usan una y otra y los altos costos de inversión de estas últimas.

Si comparamos la energía nuclear con las fuentes fósiles, la superficie a ocupar son similares en ambas, por lo tanto en ese sentido el impacto es similar en la etapa de construcción. El riesgo de un eventual accidente, es mucho mayor en la nuclear por las características del combustible que usa, pero este se controla con las medidas de seguridad que existen y que han demostrado a la fecha ser eficaces. Sin embargo si consideramos el impacto sobre el medioambiente durante la operación de ambos sistemas, es considerablemente más alto el impacto que ejercen los combustibles fósiles, por lo que la practica internacional recomienda restringir drásticamente su uso.

Bibliografía

6.1.- Instalación de las centrales nucleares. Los criterios básicos y las exigencias por el aseguramiento de la seguridad" (NP-032-01), ACE de Rusia, M. 2001

6.2.- La apreciación del peligro sísmico de las partes de la instalación de los objetivos nuclear y radiacional en razón de los datos geodinámicas. RB-019-01», ACE de Rusia, M. 2001.

6.3.- Las exigencias básicas a la composición y al volumen de las investigaciones en la selección del sitio y el emplazamiento de la central nuclear (art. 4.1 SPPNAE-87), Moscú, 2000.

6.4.- Dirección de la elaboración y el contenido de la argumentación de la seguridad ecológica de la central nuclear (Departamento de Seguridad Ecológica de la Central Nuclear de Rusia -91).

6.5.- Código sobre la seguridad de las centrales nucleares: Emplazamiento, 50-C-S, OIEA, Viena, 1989.

6.6.- Basic safety principles for nuclear power plants: 75-INSAG-3 rev. 1(INSAG-12), Report by the International Nuclear Safety Advisory Group, IAEA, Vienna, 1999.

6.7.- Site evaluation for nuclear installations: safety requirements NS-R-3, IAEA, Vienna, 2003.

6.8.- Barbarán G. A., Estudios de localización para el emplazamiento de nuevas centrales nucleares en Argentina, Comisión Nacional de Energía Atómica

Capítulo 7

Impacto Ambiental

7.1. Consideraciones de carácter general

Chile cuenta con una normativa que regula los aspectos relacionados con el impacto sobre el medioambiente de las diversas actividades productivas: la Ley de Bases del Medioambiente, que incluye instrumentos de gestión destinados a garantizar tanto la calidad de vida de las personas como la biodiversidad.

Lo cierto es que estos instrumentos están en pleno proceso de perfeccionamiento, ya que algunos son normas previamente existentes que se han adecuado a las necesidades actuales, mientras que otros nuevos se van diseñando e incorporando constantemente, en directa sintonía con lo que ocurre en Chile y el mundo. Dichos instrumentos pueden servir tanto para fijar condiciones ambientales, prevenir o corregir determinadas situaciones, cumplir dictámenes, normar factores económicos, promover la educación e investigación, la participación ciudadana y generación de información.

En este contexto se inserta el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), cuyo objetivo es prevenir el deterioro ambiental por la vía de evaluar sistemáticamente los proyectos de inversión que impliquen cierto impacto sobre el medioambiente. La ley y el reglamento establecen los diferentes tipos de proyectos que deben cumplimentar los requerimientos de este sistema, así como los criterios y parámetros que deben ser considerados para la presentación a la institución correspondientes (CONAMA) del Estudio o Declaración de Impacto Ambiental del proyecto y el proceso de tramitación para la obtención de la Resolución de la Calificación Ambiental del Proyecto.

Los proyectos relacionados con nuevos objetivos para la generación eléctrica, con independencia de la fuente de energía que utilicen, deberán ser sometidos a este sistema de evaluación para obtener la aceptación del inicio de sus actividades. En el caso particular de un proyecto vinculado con la generación núcleo-eléctrica deberá además obtener las diferentes licencias para cada una de las etapas del desarrollo del proyecto (emplazamiento, construcción, operación y desmantelamiento), de acuerdo a la experiencia internacional y a la Ley de la República de Chile No. 18.302 “Sobre Seguridad Nuclear” del 2 de Mayo de 1984 y a los requerimientos que se establezcan por la Autoridad Reguladora Nuclear en el Reglamento correspondiente al proceso de licenciamiento de las instalaciones nucleares.

A la hora de evaluar y de comparar las distintas fuentes de energía que pueden ser utilizadas para la producción de electricidad, cada vez cobran mayor importancia las consideraciones referidas a su impacto ambiental. Estas consideraciones son tan importantes que están afectando decisivamente la configuración del futuro energético de muchos países.

Los daños ambientales derivados de la producción, transporte y consumo de las distintas fuentes de energía pueden ser asociados con:

- **El agotamiento progresivo de los recursos naturales no renovables.** La mayoría de las fuentes actuales de energía son recursos que corresponde a esta categoría y enfrentan un serio riesgo de agotamiento, con el consiguiente impacto en las generaciones futuras.

- **Las emisiones a la atmósfera**. Todo el proceso que implica la producción, transporte y consumo de energía es fuente de emisiones atmosféricas: a los ya mencionados dióxido de carbono, óxidos de azufre y de nitrógeno, hay que sumar el gas metano, el monóxido de carbono, una amplia gama de partículas de metales pesados, las partículas en suspensión y los clorofluorocarbonos, que dañan la capa de ozono.

- **La contaminación del agua y de los suelos**. Se producen asimismo vertidos que contaminan el agua y los suelos (eutrofización, por ejemplo) con graves consecuencias para la salud humana y los ecosistemas.

- **La utilización del suelo**. Los distintos procesos industriales, el transporte y el consumo de energía en todas sus formas, suponen una importante ocupación de suelos y desplazan a otros usos que se le puede dar a la corteza terrestre. Esto también implica la modificación sustancial de los ecosistemas que ocasiona por ejemplo, la construcción de un embalse para generación hidroeléctrica.

- **La generación de ruidos**. La polución acústica es particularmente importante en el caso de algunas fuentes de energía.

- **Los impactos visuales sobre el paisaje**. En ocasiones, las instalaciones energéticas dañan el paisaje y representan un impacto visual negativo.
- **La generación de residuos**. La producción y consumo de energía produce residuos sólidos, que a menudo son de difícil y costoso tratamiento para evitar impactos ambientales significativos.

En relación al último punto, cabe señalar que los desechos radioactivos representan un tema importante en el caso de la energía nuclear, en particular por el desconocimiento acerca de los riesgos del manejo de combustible gastado, más conocido como “desechos nucleares”. Se puede afirmar que la ingeniería ha alcanzado niveles altos de desarrollo que permiten garantizar un manejo seguro de los desechos nucleares de manera tal, que impide el traspaso de sustancias radioactivas al entorno. Años de gestión de los desechos nucleares demuestran que la tecnología es eficiente y segura, no obstante, siempre entraña la eventualidad de un derrame accidental, y aunque sea esta una amenaza muy pequeña, la industria debe estar preparada para ello y debe operar permanentemente con los más altos estándares de seguridad. Este tema en particular se aborda más adelante (ver sección 7.5).

Además de los elementos señalados anteriormente, en el análisis también se debe tener en cuenta otros factores que se han incorporado como consecuencia de las diferentes investigaciones realizadas en torno a los cambios del medioambiente como consecuencias de las acciones antropogénicas del hombre a lo largo del desarrollo de la humanidad y que hasta hace poco pasaban inadvertidos. Son aquellos que dicen relación con el equilibrio global del planeta y en los que incide de manera determinante toda actividad industrial, incluido el sector energético, independientemente del punto geográfico donde se desarrollen:

- **El cambio climático**. Existe consenso internacional sobre el hecho de que el clima de la Tierra está cambiando como consecuencia de la actividad humana, concretamente la emisión de gases de efecto invernadero. Las consecuencias se están dejando sentir de manera global y entre los riesgos más amenazantes se cuenta la posible subida del nivel del mar, el aumento de la aridización en las zonas tropicales y subtropicales, fenómenos meteorológicos descontrolados y violentos (temperaturas extremas, huracanes y tormentas, etc.) así como la proliferación y difusión de diversas enfermedades. Por las características geográficas de Chile, dada su angosta y larga faja de terreno, está considerado como uno de los países que más sufrirá ante los posibles cambios climáticos que se avecinan.

- **La disminución de la capa de ozono estratosférico**. Conlleva posibles consecuencias para la salud humana (mayores incidencias de cánceres a la piel y enfermedades de la visión, por ejemplo).

- **La lluvia ácida**. Tiene consecuencias nefastas tanto para los ecosistemas, principalmente la capa vegetal, como para las infraestructuras humanas.

- **Los efectos negativos sobre la biodiversidad**. La disminución de la biodiversidad es un grave problema no sólo estético y cultural, sino también, y sobre todo, por la extinción definitiva de ciertas especies y la pérdida irreparable de información genética que se necesita para producir nuevos fármacos y nuevos materiales.

7.2. Comparación del impacto ambiental entre las diferentes fuentes de energía[116]

Las diferentes fuentes y tecnologías energéticas utilizadas para la generación eléctrica tienen impactos ambientales muy distintos. Por ello, en esta parte del estudio se tratara de realizar una comparación entre la producción de energía eléctrica con energía nuclear, combustibles fósiles y energías renovables (en particular, hidráulica, solar y eólica).

Las cuestiones referentes a la protección ambiental ocupan hoy una parte significativa de las inversiones y los esfuerzos administrativos en todos los segmentos de la actividad económica. Es natural, entonces, que esa nueva dinámica tenga influencia en el sector energético, dado que la producción de energía, insumo inductor del desarrollo y factor clave para la calidad de vida de las personas, tenga como contrapartida interferencias, muchas veces profundas, en los medios físicos, biológicos, socio económicos y culturales en las localidades y regiones en que sus actividades tienen lugar. El aspecto ambiental, por tanto, es una variable que tiene un peso considerable en el proceso de decisión entre las opciones a ser adoptadas para garantizar la oferta de energía en un país o región.

Como se menciona reiteradamente a lo largo del estudio, el carbón, el petróleo y en menor grado el gas, son los mayores responsables de la generación de emisiones nocivas. De acuerdo con la Tabla 1.5 del presente estudio el carbón en particular provee actualmente en el mundo un 40% de la energía eléctrica y las fuentes fósiles en su conjunto un 66%. En el caso de Chile, de acuerdo con la información estadística de la Comisión Nacional de Energía, el carbón provee energía en un 15,4%, totalizando las fuentes fósiles un 62,7%. Este sucinto análisis justifica el debate que existe, tanto en Chile como en el resto del mundo, en cuanto al compromiso que deben tomar los países a través de acuerdos internacionales para restringir las emisiones de gases de efecto invernadero, con énfasis en la disminución del anhídrido carbónico (CO_2), por ejemplo la Agenda 21 adoptada en la Reunión de la Tierra en Río de Janeiro (junio 1992) y especialmente el Protocolo de Kyoto (1997).

[116] Kryshev I.I., Rjazantsev E.P. Seguridad ecológica del complejo energético-nuclear de Rusia. Moscú: IzdAT. 2000. 384 págs.

Para lograr este propósito, es necesario que la evaluación rigurosa de las diferentes fuentes de energía se haga analizando la cadena completa de energía, de tal manera que los elementos detrás de la etapa directa de generación de potencia sean también considerados, ya que hay una amplia variedad de eventos significativos e impactos ligados a las diferentes opciones.

A grandes rasgos, los impactos ambientales están dados por la densidad de energía usada para la generación. En términos generales, a menor densidad mayores impactos ambientales y a su vez, como los combustibles influyen en las actividades de extracción, serán mayores los requerimientos de transporte, y en la cantidad de emisiones al medioambiente y los desechos generados.

Desde el punto de vista del área ocupada por una central generadora de energía, esta es diferente en dependencia de la fuente de energía y sus áreas guardan una estrecha relaciona con la densidad de energía que se utilice. Así, en la Tabla 7.1 se recoge la información para el uso del terreno de una central de 1.000 MW para diferentes fuentes de energía.

FUENTE 1.000 MW	**AREA(aproximada) [Ha]**
Petróleo	100 – 400
Gas	100 – 400
Carbón	100 – 400
Nuclear	100 – 400
Hídrica	10.000 -10.500
Solar	2.000 – 5.000
Eólica	5.000 – 15.000

Tabla 7.1 - *Comparación entre fuentes de energía por superficie de terreno*[117]*.*

[117] Elaboración propia a partir de información suministrada por documentos del Foro Nuclear Español y el OIEA (Sustainable Development Nuclear Power, 1997:

En la Tabla 7.2[118] se recoge el consumo de combustible y los residuos producidos en centrales térmicas (carbón, fuel oil y nuclear), donde se releja la influencia de la densidad energética de los combustibles considerados.

Tabla 7.2 - *Consumo y residuos de centrales nucleares, a carbón y fuel oil para una central tipo de 1.000 MW.*

	Carbón	**Fuel Oil**	**Nuclear**
Consumo medio por KW/h	380 g	230 g	4,12 mg
Consumo anual, millones de toneladas	2,5	1,52	27,2
Transporte anual	66 barcos de 35.000 toneladas o 23.000 vagones de 100 toneladas	5 petroleros de 300.000 toneladas + oleoductos	3 ó 4 camiones
CO_2, millones de toneladas	7,8	4,7	Cero
SO_2, toneladas	39.800	91.000	Cero
NO_2, toneladas	9.450	6.400	Cero
Cenizas de filtros, toneladas	6.000	1.650	Cero
Escorias, toneladas	69.000	Mínimo	Cero
Cenizas volantes, toneladas	377.000	Cero	Cero
Radiación: gases, Curíes/año	0,026	0,001	1,85
Radiación: líquido, Curíes/año	Cero	Cero	0,1

http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/index.html. En el caso particular de la hídrica se tomaron los valores central hidroeléctrica Rio Cuervo, Chile y la de Itaipu, Brasil.

[118] Nucleonor, España.

Desechos radioactivos sólidos	Mínimo	Cero	13,5 m^3 (alta) 493 m^3 (media)

Acercando lo anterior a situaciones concretas se puede decir que la Central Nuclear de Kashiwazaki-Kariwa[119], en Japón (ver Imagen 7.1), tiene una potencia total instalada de 8.272 MW, similar a la que actualmente posee el Sistema Interconectado Central (SIC) de Chile, y ocupa aproximadamente unas 420 Ha.

Por contrapartida, la baja densidad de energía de las fuentes renovables, medida por los requerimientos de terreno por unidad de energía producida, ha demostrado que el área necesaria es significativamente mayor y está determinada por los requerimientos locales y las condiciones climáticas. Un ejemplo de esto se aprecia en la Imagen 7.2.

Imagen 7.1 *- Vista área de la Central Nuclear Kashiwazaki-Kariwa en Japón con 8.212 MW de potencia instalada.*

[119] 5 Bloques de 1.100 MW BWR (Reactor de Agua Hirviente) y 2 de 1.386 MW ABWR (Reactor Avanzado de Agua Hirviente).

Imagen 7.2 - *Central Solar de Cuenca (España), compuesta por 90 mil paneles solares que cubren 80 hectáreas, equivalente a 100 canchas de fútbol, para producir 18 MW.*

Los combustibles fósiles producen, adicionalmente al CO_2, gases nocivos y una amplia gama de contaminantes tóxicos que son fuente de contaminación atmosférica, cuyo nivel depende del material no aprovechable que contiene el combustible (en orden creciente, gas natural, petróleo y carbón). Su volumen depende también de la tecnología de combustión y de los controles de emisiones usados. Las magnitudes de estas emisiones se recogen en las Tablas 7.2 y 7.3.

El carbón produce siempre óxidos nitrosos gaseosos (NO_X), las impurezas del azufre se emiten como dióxido de azufre gaseoso (SO_2), y las inorgánicas como una amplia gama de metales, incluyendo elementos radiactivos. Los metales pesados volátiles, por ejemplo el mercurio, se proyectan en forma de vapor, mientras otros como el cadmio y el plomo, permanecen en su mayor parte en las cenizas residuales. El quemado incompleto produce partículas de carbón y de hidrocarburos, junto con monóxido de carbono y una amplia diversidad de componentes inorgánicos y también material radioactivo.

La contaminación depende del nivel de impureza de los combustibles, siendo el gas natural más limpio que el petróleo y éste, más limpio que el carbón. Las plantas de combustibles fósiles que usan tecnologías modernas de control pueden abatir la emisión de gases nocivos, pero producen significativas cantidades de desechos sólidos en el proceso.

En el caso de la energía hidráulica, el impacto sobre el medioambiente es consecuencia de la inundación de gran cantidad de superficie de terreno para asegurar el adecuado depósito de agua que permita generar los volúmenes de electricidad proyectados. El impacto se

resume en la alteración del ecosistema de la zona, del caudal de los ríos y problemas en los ecosistemas acuáticos y de ribera, cuando las poblaciones de animales y vegetales son incapaces de adaptarse a los cambios bruscos ejercidos artificialmente.

Los embalses suponen la creación de nuevos ecosistemas acuáticos, crean grandes masas de agua de movimiento lento, lo que puede provocar déficit de oxígeno en las capas profundas y problemas de sobre-crecimiento de la materia orgánica (eutrofización), ocasionando la detención del flujo natural de materiales en el curso del río, llenándolos poco a poco de sedimentos, en un fenómeno conocido como aterramiento. Causan también importantes alteraciones en el paisaje, modifican el microclima de la zona en que están construidos y provocan el desplazamiento forzado de pueblos enteros cuyas casas y cultivos se encuentran en la zona a sumergir.

Imagen 7.3 - *Represa Hidroeléctrica de Itaipú. El lago artificial tiene 29 millones de m^3 de agua, con unos 200 Km de extensión en línea recta y un área aproximada de 1.400 Km^2. La potencia instalada es 12.900 MW, con 18 turbinas generadoras de 700 MW cada una.*

Otro ejemplo, en particular en Chile, del impacto que tiene sobre el terreno la instalación de un parque eólico lo constituye el proyecto que el grupo español Enhol (Eólica Navarra) en asociación con la compañía chilena Eólica Talinay que construirán en la ciudad de Ovalle, a 411 Km al norte de Santiago, y que se anuncia como el mayor de su tipo en Latinoamérica. Tendrá una potencia de 500 MW con 243 aerogeneradores de entre 2 y 3 MW cada uno y ocupará aproximadamente 10.000 hectáreas (8.000 campos de futbol), ***recuerde que la central nuclear japonesa tiene 8.212 MW y sólo ocupa 420 Ha***.

En la Tabla 7.3[120] se presenta la comparación de emisiones al medioambiente por diferentes fuentes de energía y a partir de ella se harán los análisis correspondientes.

Tabla 7.3 *- Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad (en toneladas por GWh producido). (TR – Trazas)*

Fuente de Energía	CO_2	NO_2	SO_2	Partículas	CO	Hidrocarburos	Desechos Nucleares	Total
Carbón	1058,2	2986	2,971	1,626	0,267	0,102	-	1066,1
Gas Natural (ciclo combinado)	824	0,251	0,336	1,176	TR	TR	-	825,8
Nuclear	8,6	0,034	0,029	0,003	0,018	0,001	3,641	12,3
Fotovoltaica	5,9	0,008	0,023	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomasa	0	0,614	0,154	0,512	11,361	0,768	-	13,4
Geotérmica	56,8	TR	TR	TR	TR	TR	-	56,8
Eólica	7,4	TR	TR	TR	TR	TR	-	7,4
Solar Térmica	3,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidráulica	6,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6

Es conveniente señalar, que las centrales nucleares, en el aspecto de desechos radiactivos, han alcanzado reducciones significativas en el volumen de desechos de bajo actividad al ser gestionados éstos mediante compactación. En particular este tema, por la importancia que reviste y el impacto que tiene en la opinión pública, es abordado de manera independiente.

En cambio, las grandes cantidades de desechos de combustibles fósiles que contienen sustancias tóxicas, en especial provenientes de la combustión de carbón, plantean un serio problema en relación con la calidad del agua y la contaminación de las cadenas alimenticias, siendo cada vez más común clasificar tales desechos como peligrosos. Por ejemplo, una central a carbón de 1.000 MW produce aproximadamente 300.000 toneladas de ceniza al año (ver Tabla 7.2), así como 400 toneladas de metales pesados tóxicos. La

[120] *US Department of Energy, Council for Renewables Energy Education and Worldwatch Institute.*

tecnología para mitigar la contaminación por azufre produce 500.000 toneladas adicionales de desechos con sustancias tóxicas.

En lo que respecta a los gases de efecto de invernadero, que provoca el calentamiento global y cambios regionales en el clima, ha habido poco avance en la reducción de emisiones aunque dentro de tales gases se encuentran el metano (CH_4) y los óxidos de nitrógeno (NO_x); el principal causante de dicho efecto es el dióxido de carbono (CO_2). De acuerdo con la Tabla 7.2, una planta de carbón de 1.000 MW emite 1058,2 toneladas de CO_2 por GWh generado, y no se aprecia en el horizonte alguna tecnología económicamente viable para mitigar o controlar esas grandes cantidades.

En 1997, un estudio del Departamento de Energía de los Estados Unidos pronosticó que para el 2015 las emisiones de CO_2 estarían 61% por encima del nivel de 1990, siendo las dos terceras partes del incremento producto de los países en desarrollo por el uso de combustibles fósiles para solventar sus necesidades de energía. En términos de gramos equivalentes de carbón por KWh, algunas cadenas de producción del gas natural podrían tener emisiones similares. Si se incluye el gas metano emitido por la descomposición del material orgánico inundado en el fondo de las represas hidroeléctricas, las emisiones podrían alcanzar los valores del gas natural.

Cálculos teóricos indican que si la electricidad producida por centrales nucleares en todo el mundo (17%) fuese generada por modernas y eficientes centrales térmicas alimentadas con carbón, serían lanzados adicionalmente al medioambiente aproximadamente 2.600 millones de toneladas de dióxido de carbono por año o 1.600 millones de toneladas si esa energía fuese generada por una combinación de centrales térmicas a base de petróleo, carbón y gas[121].

En cuanto a las emisiones de celdas solares fotovoltaicas, éstas no son nulas. Como se aprecia de la Tabla 7.3 y estas son menores que la eólica. En ambos casos esta emisión de gases de efecto invernadero está relacionada a la cadena completa en particular en la manufactura del equipamiento y en el proceso de construcción de este tipo de centrales. Adicionalmente, en el caso de la fotovoltaica durante la manufactura de circuitos integrados de silicio se producen desechos químicos y metales pesados.

[121] **La opción de la** nucleoelectricidad en la Región de América Latina y el Caribe, Proyecto "Cooperación en la Gerencia de Programas de Potencia Nuclear" RLA/4/012, OIEA, 1999.

Por su parte los generadores eólicos tienen una incidencia de CO_2 similar a los de origen hidráulico; el impacto ambiental se centra en la baja producción de energía por unidad de superficie de terreno. Entre sus efectos perjudiciales, además de la modificación del entorno natural del emplazamiento, se cuentan altos niveles de ruido y generación de campos electromagnéticos cuyos efectos para la salud de las personas están en estudio, pero su presencia y efecto nocivo se ha documentado respecto a notorios cambios de conducta en las aves propias de esos hábitats. Los requerimientos de espacio en una instalación aerogeneradora son importantes por las necesidades de separación entre aerogeneradores, que revierte en mayores longitudes de accesos y canalizaciones, y por las dimensiones de los mismos, que supone la construcción de una serie de elementos auxiliares para su anclaje al terreno (superficie de cimentaciones) y para su montaje (plataformas de apoyo de la maquinaria).

(a)

(b)

***Imagen 7.4** - Apreciación (a) del gran impacto visual que suponen los trazados de acceso a dos parques eólicos de California (EE.UU), (b) así como se evidencia la enorme influencia que presentan los factores de densidad y el numero de aerogeneradores sobre el impacto paisajístico. Fuente: www.pbase.com*

A partir del análisis comparativo realizado anteriormente, la energía nuclear puede ser considerada como una opción válida para cubrir parte de la demanda creciente de energía dentro de la matriz energética para la generación de energía eléctrica por ser capaz de brindar módulos con un potencia de generación alta sin ocupar grandes extensiones de suelo, no generar durante la operación gases nocivos y de efecto invernadero y tener más de 50 años de experiencia de operación.

7.3. Emisiones y contaminación térmica

Las emisiones de sustancias nocivas contienen un componente constante, correspondiente a la operación regular, y un componente casual que depende de la probabilidad de ocurrencia de averías, o sea del nivel de la seguridad del objetivo que se examina.

Los efluentes que se producen en las centrales nucleares, tanto gaseosos como líquidos, se someten a tratamiento con el fin de conseguir que los niveles de radiactividad disminuyan hasta niveles inferiores a los restrictivos límites establecidos, siendo descargados posteriormente de modo controlado cuando se tiene la certeza de que estos límites no se superan. Por su parte, los residuos sólidos se someten a procesos de compactación y mezcla en matrices de cemento estables y posteriormente se embidonan para su almacenamiento controlado.

En relación con la dosis recibida por la presencia de centrales nucleares, una persona que permaneciera todo el año a una distancia inferior a 2 Km de la central, recibiría una dosis adicional de 0,005 mSv/año[122]; la dosis disminuiría a medida que la persona se alejara de la central, de tal modo que si se mantuviera a una distancia superior a los 10 Km no recibiría dosis adicional alguna. Conviene recordar aquí que la reglamentación establece zonas de acceso prohibido o restringido en el entorno de una central nuclear, por lo que puede considerarse que es nula la dosis que por esta causa recibe el público en general. Por esta situación en particular, como se muestra en la Figura 7.1 a la central nuclear se le asignan diferentes zonas de control conocidas como sanitarias que definen las áreas donde deben realizarse el monitoreo de diferentes parámetros del medioambiente, incluyendo la

[122] Sv, Sievert. Unidad de medida de radiación absorbida por la materia orgánica. 1 SV equivale a 1 Joule/Kg de radiación absorbida.

radioactividad, y comparando sus resultados con los que se establecieron como línea base en el proceso de selección del emplazamiento de la central nuclear.

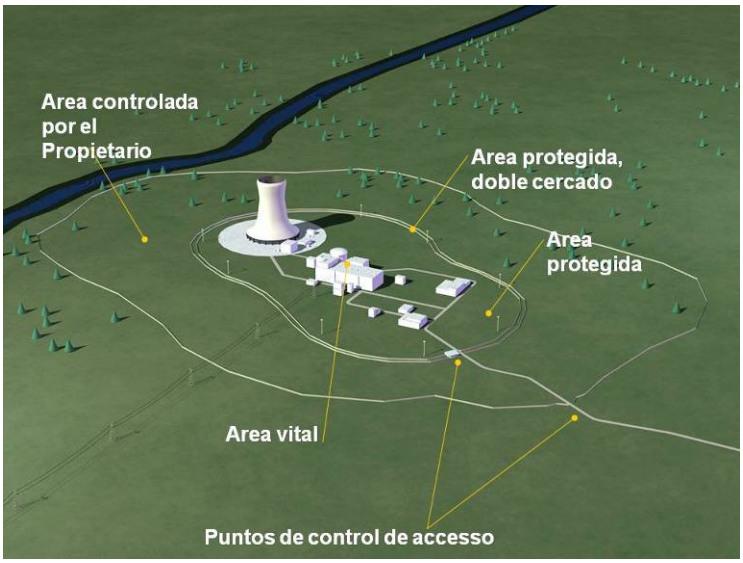


***Figura 7.1**- Representación esquemática de las zonas de seguridad para una central nuclear*

Ahora bien, dentro la central nuclear se produce sustancias radioactivas y tóxicas en concentraciones altas y que podrían representar un grave riesgo si llegaran a contaminar los flujos superficiales o subterráneos de las aguas, a partir de donde se distribuirían en el medioambiente afectando a las plantas, los animales y las personas. Por eso, para la industria nuclear existen normas de estricto cumplimiento que regulan este tipo de emisión al medioambiente y para ello se equipan con eficientes medios de seguridad que permite el cumplimiento de lo regulado en ellas.

Las normas sanitarias de las concentraciones de los límites admisibles, las temperaturas permitidas, las cargas de dosis y las cargas mecánicas constituyen el criterio determinante en la elaboración de las medidas para proteger al medioambiente. Los límites de irradiación hacia el exterior, nivel de los radioisótopos y de las sustancias tóxicas en los componentes de los ecosistemas, así como las cargas mecánicas, se fijan en las normas correspondientes con el objetivo de proteger al medioambiente de una posible degradación.

Las medidas para la prevención de las influencias peligrosas durante la operación, la creación de posibilidades para su compensación y el control de las influencias nocivas deben considerarse durante la fase de planeamiento de los objetivos. Esto supone, como se mencionó anteriormente, la elaboración y creación de sistemas de monitoreo ambiental en las regiones, la elaboración de métodos de cálculo para el pronóstico del daño ecológico,

métodos reconocidos de evaluación de las capacidades ecológicas de los ecosistemas y métodos de comparación de daños de diversos tipos.

Estas emisiones quedan registradas continuamente y son objeto de continuo seguimiento mediante un extenso programa de análisis realizado por entidades independientes y por la administración de las propias centrales nucleares. Los valores de esos efluentes medidos en términos de actividad radiológica y de dosis son mil veces inferiores a lo permitido en las reglamentaciones vigentes en los países que poseen este tipo de planta y por debajo de otras fuentes de radioactividad a la que el ser humano se encuentra en su vida cotidiana (ver Figura 7.2).

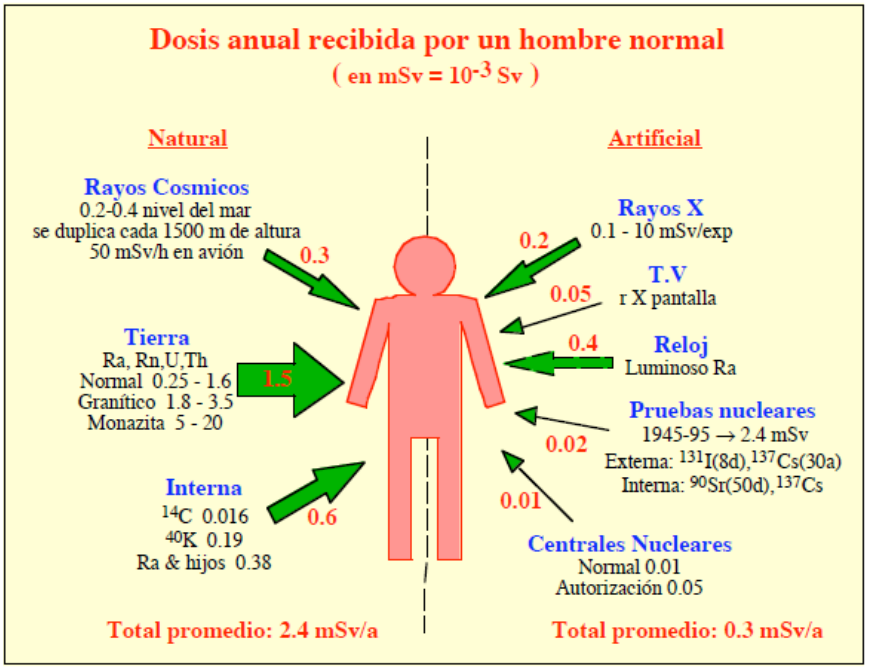


Figura 7.2 *- Dosis anual de radiación recibida por un hombre normal (Fuente: Foro Nuclear de la Industria Española).*

Por otro lado, por regulación las centrales nucleares deben tener un Plan de Emergencia antes incidentes y accidentes nucleares que es revisado y controlado por la Autoridad Reguladora Nuclear y que contiene las acciones necesarias para reducir las consecuencias que pudiera tener cualquier tipo de incidente o accidente a los trabajadores de la central, al medioambiente y la población en general.

Al igual que las centrales termoeléctricas, las centrales nucleares realizan descargas de residuos líquidos al medioambiente. En este caso al igual que las termoeléctricas a combustibles fósiles como la nuclear, en Chile deben satisfacer el Decreto Supremo No. 90 del 30 de Mayo del 2000 que estable la "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales" y por ello deben tomarse las soluciones técnicas correspondientes para su cumplimiento.

Por otro lado, en toda central térmica (de carbón, fuelóleo, gas o nuclear) hay una parte de la energía que, de acuerdo con la termodinámica, no se transforma en electricidad sino que se elimina en forma de calor residual. Este calor residual, si no se aprovecha de otro modo, se disipa en el agua de refrigeración del condensador. Cuando esta agua vuelve a su cauce original (río, lago o mar) puede producir un incremento térmico de este sumidero. Dependiendo de las circunstancias esta alteración puede tener efectos beneficiosos, indiferentes o perjudiciales, según los casos. Fuera de las ocasiones en que el aumento de temperatura sea deseable, la reglamentación prohíbe que dicho aumento exceda de una cierta cantidad, por debajo de la cual no hay alteración ecológica. Existen soluciones tecnológicas que permiten limitar el aumento de temperatura del agua diluyendo el agua del condensador con suficiente líquido del sumidero último, tomando agua más fría a una profundidad mayor, aumentando la eficiencia térmica de la generación o recurriendo al uso de torres de refrigeración. En la Figura 7.3 se presenta una de las soluciones técnicas para reducir esta contaminación.

Existen experiencias de aprovechamiento del calor residual de las centrales con fines útiles en la acuicultura o invernaderos, con lo que además de evitarse el perjuicio ecológico, se aprovecha la energía residual de la central[123].

[123] http://www.tepco.co.jp/en/env-com/environment/report/env_sec/local/ka_35-02-e.html

***Figura 7.3** – Representación esquemática de la toma de agua de mar a profundidad.*

En el caso de la central nuclear la diferencia de temperatura alcanza los 5°C que está dentro de los rangos permitidos a los proyectos termoeléctricos de acuerdo con lo establecido en la Tabla No. 5 del Decreto Supremo 90 del 200 (7°C) y cuyos análisis se pueden consultar en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental Chileno (SEIA)[124]. En los casos analizados en el SEIA se proponen medidas técnicas para que aun siendo esta diferencia de temperatura superior al límite establecido, esta diferencia se reduzca a los límites establecidos. Por ello, se puede **afirmar que una central nuclear tiene impactos sobre el medio marino equivalentes a las unidades térmicas convencionales que existen en Chile, y que con regulación e inversión puede mejorar dichos parámetros.**

7.4. Impacto al patrimonio cultural

Se ha mencionado con anterioridad que al igual que cualquier otro proyecto de generación de electricidad, la central nuclear debe cumplir con toda la normativa sectorial en el ámbito ambiental y la normativa específica que sea aplicable al proyecto con relación a la protección del patrimonio cultural que se encuentre ubicado en la región de emplazamiento de la central.

Por ello, si durante las investigaciones que se realizan para la selección del emplazamiento o incluso en los trabajos de construcción (particularmente excavación) se encuentran sitios o lugares de interés arqueológico, se tendrán en cuenta las regulaciones establecidas al respecto para la protección del patrimonio cultural del país y en particular de la región.

[124] http://www.seia.cl, proyectos de centrales generadoras mayores de 3 MW (CTE Maitencillo, Patache S. A. CTE Punto Alcede, entre otras. CTE Central Termoeléctrica).

Vinculado con la ubicación de la central generadora de electricidad, se origina en caso que sea necesario un proceso de reubicación o reasentamiento de la población que se encuentre en las inmediaciones del terreno donde se construirá la central. En general las renovables, incluyendo la hidráulica tienen impactos mayores en este sentido que el resto de las fuentes sin embargo, todas deben satisfacer las regulaciones establecidas al respecto en el país en cuestión.

En caso de que los asentamientos a reubicar sean de pueblos originarios adicionalmente habrá que satisfacer los requerimientos que en este sentido establezca la ley. Por ello, para ambas situaciones se deben promover la ejecución de medidas que ofrezcan a los afectados los medios para mejora o al menos restaurar los niveles de vida anteriores y el resto a la cultura de la región.

7.5. Desechos

Todas las actividades industriales generan residuos o desechos. Estos pueden ser más o menos cuantiosos o nocivos y pueden aparecer en las distintas fases de los procesos de construcción y de producción, debido a la continua manipulación de materiales involucrados en los diferentes procesos.

A modo de ejemplo se puede citar la producción **per cápita** anual de desechos en Francia, un país donde el 75% de la generación eléctrica es nuclear:

- 360 Kg de desechos domésticos;
- 7.300 Kg de desechos agrícolas;
- 3.000 Kg de desechos industriales de los cuales ***100 Kg son tóxicos***;
- ***1,4 Kg de desechos radioactivos de los cuales 20 g son altamente radioactivos y solo 1 g de vida media larga que por esta razón requieren una atención especial***.

La situación de los desechos en la Unión Europea según la empresa española ENRESA[125] se presenta en la Figura 7.4.

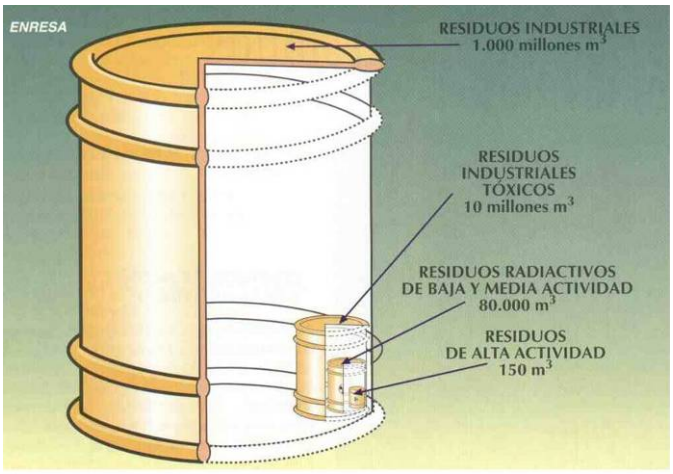


***Figura 7.4** – Comparación de la generación anual de desechos en la Unión Europea.*

Un análisis para el caso particular de la industria eléctrica se puede apreciar en la Figura 7.5 donde se recoge el tipo de desecho y su volumen por GW generado.[126]

[125] Tomado de: Nuclear and Renewable Energies (Rome: Accademie Nazionale dei Lincei 200) update with data from European Commision, Radioactive Waste Management in the European Union (Brussels: EC: 1998). ENRESA: Empresa Nacional de Residuos Radioactivos S. A.

[126] Mantenimiento y aumento del patrimonio para las futuras generaciones, Energía Nucleoeléctrica y desarrollo sostenible, Colección de Información Pública del OIEA, División de Información Pública 02-01577/FS Series 3/01/5/Rev.1)

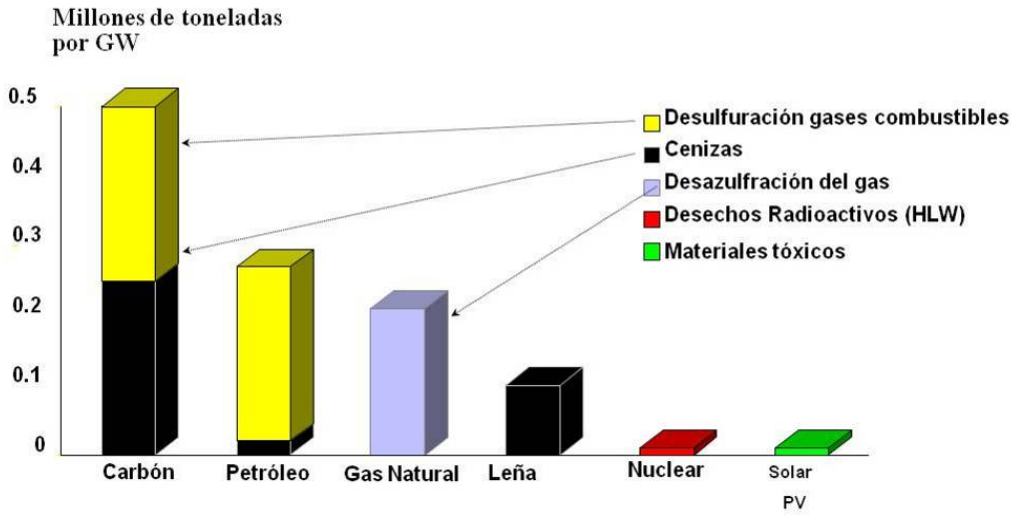


Figura 7.5 - *Desechos anuales producidos en la elaboración del combustible y el funcionamiento de las centrales eléctricas.*

7.5.1. Los desechos radioactivos¡Error! Marcador no definido.

La humanidad ha convivido con la radiación y los radioisótopos desde la aparición de la vida en la Tierra, entre estos, elementos con periodos de semidesintegración muy largos, como el potasio-40, el uranio-238, el uranio-235 y el torio-232, así como los isótopos resultantes de la desintegración de estos tres últimos. También el hombre ha empleado algunos isótopos radiactivos naturales, como el radio-226 en técnicas terapéuticas, además del uranio-235 de los reactores nucleares. Así, el factor de peligro de estas sustancias está dado por su concentración, que en el caso de los desechos radioactivos supera los niveles definidos como aceptables para la salud humana.

Se considera desecho radiactivo cualquier material o producto para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionúclidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por las autoridades competentes. Los residuos radiactivos se producen en las distintas aplicaciones, a saber:

- **Aplicaciones energéticas**. Es el grupo más importante. Los desechos generados en estas aplicaciones provienen de la generación de electricidad de origen nuclear abarcando cada una de sus etapas en el ciclo de vida. Constituyen alrededor del 95 % de la producción total.

- **Aplicaciones no energéticas**. Derivadas de los usos de la energía nuclear en la investigación, medicina e industria. El volumen de desechos radiactivos que

generan es pequeño, inferior al 10%, sin que esto quiera decir que su gestión deba ser menos rigurosa.

Desde luego que en Chile, como país con basta aplicación de las técnicas nucleares en la industria, agricultura y la medicina desde hace mas de 40 años, se generan este tipo de desechos. La Comisión Chilena de Energía Nuclear es la responsable, a nivel de país, de la gestión de estos desechos y por ello tiene acumulada una relativa experiencia en el manejo de los mismos, alcanzada durante todo estos años de las aplicaciones de estas técnicas.

Con independencia de si el desecho es sólido, líquido o gaseosos estos pueden ser clasificados de la siguiente forma:

- **Desechos de actividad baja**: producidos en las centrales nucleares y en las aplicaciones de radioisótopos en la medicina, la industria y las investigaciones. Deben ser confinados solo por un periodo de tiempo limitado de cerca de 200 años.

- **Desechos de actividad media**: son los que generan durante la operación de la central nuclear tales como resinas de intercambio iónico, y son tratados y dispuestos normalmente de la misma manera que los de bajo nivel.

- **Desechos de actividad alta**: consisten en los productos de fisión y el plutonio contenido en los elementos combustibles gastados que son extraídos del núcleo (zona activa) del reactor nuclear y que son almacenados de una forma segura para aislarlos del medioambiente y a largo plazo, posiblemente por cientos de miles de años. Estos desechos generan calor que puede ser significativo los primeros 30 años.

Para todos ellos, se exigen una gestión y evacuación apropiadas de manera que no tengan una interacción directa con el medioambiente y la población. Las tecnologías existentes en la actualidad para la gestión de los desechos radiactivos de actividad baja e intermedia son de una eficacia comprobada y se utilizan ampliamente en los Estados miembros del Organismos Internacional de Energía Atómica (OIEA) desde hace mas de 40 años.

7.5.1.1. Desechos radioactivos producidos por las centrales nucleares[127, 128].

Los desechos radiactivos generados en la producción de energía nucleoeléctrica son:

- **Desechos** generados **en la minería y la fabricación del combustible nuclear.** Contienen radioactividad únicamente natural y son los materiales de desecho: a) de la minería del uranio; b) de la separación del uranio, de los minerales extraídos, en las plantas de fabricación de concentrados (torta amarilla); c) del enriquecimiento en uranio-235 para aumentar la concentración del isótopo fisionable; y d) de la fabricación del combustible nuclear.

- **Desechos generados durante el funcionamiento de las centrales nucleares.** De ellos se derivan dos tipos de residuos:

  - Residuos de la fisión o "quemado" del combustible que se introduce en el reactor para producir energía. Su volumen es pequeño pero altamente radioactivo.

  - Los que se generan durante la operación normal de la central provenientes de las mantenciones de la central entre los que se encuentran las resinas de intercambio iónico del primer circuito, guantes, ropas de trabajos, utensilios o equipos utilizados en el primer circuito para la mantención, entre otro. Todo esto da a lugar a una determinada cantidad de productos radiactivos de baja radioactividad, los que son tratados como "desechos radioactivos" dentro de la central nuclear.

- **Desechos generados en el reprocesamiento del combustible** una vez que este es retirado de la central nuclear para su almacenamiento definitivo. Son de alta actividad y periodos de vida media largos y que son debidamente gestionados para la reducción de sus volúmenes y almacenamiento definitivo. Se desarrollan tecnologías, en particular trasmutación, para reducir la radioactividad de los mismos y los tiempos de vida media.

---

127 Factors Relevant to Recyclic or Reuse of Components Arising from the Decommissioning and Refurbishment of Nuclear Facilities: Technical Report Series 293, Vienna. IAEA, 1988.

128 MacLauchlan A., NEA Study Finds Waste Weight is Key to Decommissioning Cost. Nucleon Weeks, 32, No. 42, P. 1-9.

- **Desechos generados durante el desmantelamiento** de la central al concluir sin tiempo de vida útil. Estos se producen como consecuencia del desmontaje de las instalaciones y equipos del primer circuito de la central que están expuestos a radiaciones ionizantes durante la vida útil de la central. Estos materiales son debidamente gestionados y confinados en almacenes especialmente diseñados para este tipo de desecho.

En su mayor parte residuos de baja actividad y, en algún caso, de media y en pequeños volúmenes los de alta actividad. Se producen en total del orden de 100 m^3 de este tipo de residuos por año de operación en una central de 1.000 MW, conteniendo un total de actividad de 400 curíes.[129]

El combustible nuclear una vez alcanzado el grado de quemado establecido se saca del núcleo del reactor y se coloca en las piscinas de combustible gastado de la misma central nuclear, que tienen como misión su aislamiento radiobiológico, la disipación de su calor residual y su albergue provisional en espera de su posterior gestión. El agua de la piscina se contamina, para lo cual luego se purifica por filtración y absorción, produciendo también pequeñas cantidades de residuos de baja actividad.

Por último hay que incluir todos los desechos radiactivos producidos en el proceso de desmantelamiento de las centrales al término de su vida útil.

En todas las etapas del ciclo de combustible se producen desechos radioactivos de baja actividad (número de desintegraciones de núcleos radioactivos por unidad de tiempo). Contienen elementos débil o muy débilmente radioactivos y de vida media corta (no más de unas pocas décadas). Representan el 90% del total del volumen de desechos generados a lo largo de toda la vida útil de una central nuclear, pero contienen solo alrededor del 1% del total de la radioactividad. Se producen especialmente durante el mantenimiento de la central (herramientas y ropa protectora o filtros irradiados) y durante el desmantelamiento.

Los residuos de media actividad son sustancias de mayor vida media (miles de años). Se producen durante la operación del reactor y en el desmantelamiento (solo un porcentaje pequeño de la central desmantelada cae en esta categoría de desecho). También se generan en el reprocesamiento del combustible y para una central de 1.000 MW la Word Nuclear Association estima que en el mantenimiento se genera cada año 0,5 m^3 de desechos de este tipo.

[129] Curie, antigua unidad de medida de la radioactividad. 1 Curie es igual a 2,2 x 10^{12} desintegraciones por segundo.

Los residuos de alta actividad contienen desechos mas altamente radioactivos y de vida media larga (más de 10.000 años). Están constituidos esencialmente por el combustible gastado. El OIEA reporta valores que muestran que en promedio una central de 1.000 MW genera anualmente alrededor de 30 toneladas de metales pesados como desechos del combustible, lo que representa para reactores de agua ligera un volumen de aproximadamente de 20 m^3 al año.

Por otra parte, el desmantelamiento de una central nuclear genera desechos de baja media y alta actividad. Los residuos de baja actividad y de vida media corta representan en promedio y de acuerdo con los datos del OIEA, unas 5.000 toneladas que, asumiendo una densidad media aparente de los residuos del desmantelamiento de 1,4 $t/m^{3,}$ implicaría unos 3.500 m^3. Los residuos de media y alta actividad representan unas 1.000 toneladas (700 m^3).

Algunos científicos sostienen que con la utilización del ciclo cerrado de combustible, en 150-200 años más, la radioactividad total de los desechos nucleares, a excepción de la porción final de alta radioactividad (que es un 3% del total), estará al mismo nivel inicial de la radioactividad de las materias primas del combustible nuclear. En la actualidad los especialistas no tienen dudas acerca de la seguridad de las medidas propuestas para el aislamiento de los desechos radioactivos. Sin embargo, es indudable que de cara a la opinión pública el hecho de admitir que se requiere guardar desechos nucleares por cientos o miles de años resulta difícil explicar y puede preocupar a un porcentaje importante de la población, aunque existan argumentos que demuestran que estos depósitos no constituyen una amenaza y tampoco han provocado, hasta ahora, un aumento de la radioactividad natural de la Tierra.

7.5.1.2 Tratamiento de los desechos radioactivos

La principal razón para separar los residuos nucleares en diferentes categorías es que su tratamiento y, fundamentalmente su disposición final, depende de eso. Los residuos de baja actividad, luego de ser compactados y colocados en un contenedor metálico inoxidable, a su vez rodeado de un segundo contenedor de hormigón, pueden guardarse de manera segura en un emplazamiento en superficie. Si bien no se trata de sustancias con un grado de peligrosidad importante, dicho sitio debe ser mantenido hasta 100 años. Existen numerosos estudios y abundante experiencia que indica que este es un procedimiento seguro y que por la forma en que se ha diseñado, este doble mecanismo puede resistir sin dificultad durante este lapso de tiempo. Esto es, esencialmente, lo que se hace en todo el mundo, desde hace varias décadas, por ejemplo, con algunos residuos hospitalarios radiactivos.

Los residuos de media actividad en general se dividen entre los de vida media corta y los de vida media larga. Los primeros también pueden ser almacenados en superficie, en las mismas condiciones que los de la categoría anterior. Los de vida media larga requieren cuidados por un lapso mayor, por lo que resulta conveniente tratarlos de la misma manera que aquellos del grupo de alta actividad.

El tratamiento de los residuos de alta actividad es el que plantea mayores desafíos y controversias. Es posible identificar dos etapas en el tiempo. Una primera etapa -de unas pocas decenas de años- en que los residuos permanecen dentro de piscinas o silos refrigerados para disminuir el calor que liberan. Esto se debe a que el combustible usado contiene algunas sustancias de vida media corta y de alta radiactividad aún. Por ello, antes de pasar a la etapa siguiente es necesario permitir que se desintegren esas sustancias con la consiguiente liberación de calor. La segunda etapa es la del almacenamiento definitivo, que debe mantenerse en condiciones seguras por plazos superiores a 10.000 años.

Una buena parte del combustible usado por las centrales nucleares en el mundo se encuentra aún en la primera etapa de este proceso, por lo que los residuos de alta actividad suelen encontrarse en piscinas dentro del propio recinto de la central.

Para avanzar hacia la segunda etapa, los países que actualmente poseen la tecnología nucleoeléctrica han definido diferentes caminos, a saber: el reciclado o reprocesamiento del combustible usado, la conservación de los residuos en depósitos intermedios a la espera de avances tecnológicos para simplificar su gestión, o directamente a almacenar en forma definitiva los residuos.

La posibilidad de reciclar el combustible usado se basa en extraer la potencialidad como combustible que aún posee. El 95% del combustible quemado es uranio 238, que fue un mero espectador de la reacción en cadena dentro del reactor. El resto se divide en dos grandes categorías: un 4% son los productos de la fisión del uranio 235 y el 1% restante está formado por una serie de compuestos, llamados actínidos, que se produjeron debido a la captura de un neutrón por parte de un núcleo de uranio 238. La mayoría de estos productos son radiactivos. Dentro de los actínidos, el que más se produce es el plutonio pero también se generan los llamados actínidos menores, como el americio, el neptunio y el curio, todos ellos altamente tóxicos y con una larga vida media. Tanto el uranio 238 como el plutonio, es decir el 90% del residuo, pueden transformarse a su vez en combustible para futuras centrales nucleares.

El reciclado de los residuos nucleares presenta dos ventajas comunes a todo proceso de reciclado. Por un lado, permite la utilización de sustancias que de otra manera se perderían y por otro, disminuye la carga tóxica de los residuos, al extraer, por ejemplo, el plutonio

que es la sustancia más tóxica contenida en ellos. También aparecen nuevos problemas como los riesgos derivados del transporte y la manipulación. Más aún, ante la evidencia que, por razones tecnológicas y económicas, no es esperable que en todos los países se instalen plantas para reciclar combustible. A modo de ejemplo, a partir del reciclado de los residuos en Francia se obtiene la sustancia denominada MOX (un tipo de combustible que aprovechando el plutonio que resulta de quemar el uranio es mezclado en un pequeño porcentaje con uranio poco enriquecido) la que es a su vez utilizada como combustible de algunas de sus centrales.

En la Figura 7.5[130, 131, 132] se aprecia la disminución de la cantidad acumulada del combustible nuclear utilizado y otros desechos nucleares en Francia, gracias a los perfeccionamientos tecnológicos y al reprocesamiento.

El proceso de reciclado produce a su vez residuos (a veces denominados "cenizas") que si bien ocupan un volumen menor, siguen siendo altamente radiactivos. Estos residuos contienen los actínidos menores y productos de fisión del uranio que también presentan largas vidas medias y altos niveles de toxicidad, por lo que deben gestionarse con estrategias similares a las planeadas en los países que han resuelto no reciclar sus residuos nucleares. Según el OIEA, el reprocesamiento del combustible produce 0,40 m^3 de residuos de alta actividad vitrificados por cada tonelada de metales pesados, lo que implica que el reprocesamiento del combustible usado de un año de una central de 1.000 MW pueda llevar a un volumen de 15 a 20m^3 de residuos vitrificados de alta actividad.

130 Krakowski R. A., Bathke C. G. Reduction of Worldwide Plutonium Inventories Using Conventional Reactors and Advanced Fuels: A System Study. Los Alamos. 1999. P.67.

131 Poplavsky V. M., Usanov V. I, Chebeskov A. N., et al., Evaluación de la eficiencia de las medidas para la disminución del riesgo de difusión de los materiales divididles en base a los modelos periciales del análisis de sistema. Energía Nuclear. Vol.91. Lanz.5. Noviembre. 2001. 354-362 págs.

132 Ptisyna N.V., Chitaikin V.I., Shibarshov L.I. Plutonium and its Chemical Compounds: the Problems of Nuclear Weapons Non-Profileration. Managing Plutonium Surplus. P.157-170. Kluwer Academic Publishers.

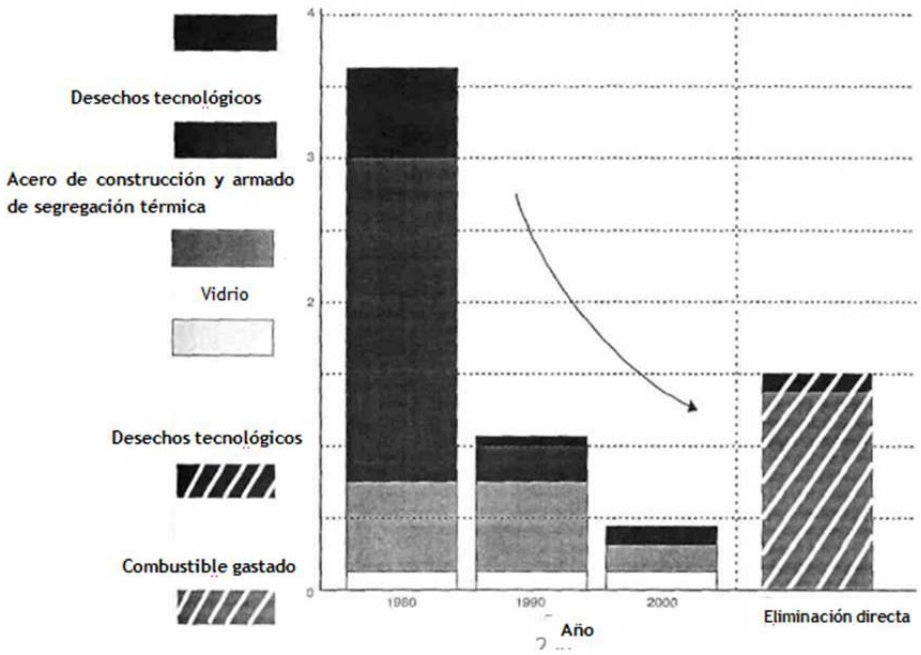


***Figura 7.5** - Disminución de los desechos radioactivos en el reprocesamiento del combustible nuclear gastado en las centrales nucleares de Francia.*

En el mundo, países como Francia, Japón, Inglaterra y Rusia, entre otros, han optado por reciclar el combustible usado para extraerle el uranio y el plutonio. Otros como Estados Unidos, Canadá, Suecia o Finlandia todavía disponen el "combustible quemado" sin reciclar.

Otro camino para avanzar hacia el almacenamiento definitivo, es la conservación de los residuos en depósitos transitorios, diseñados para resistir sin dificultades durante dos o tres siglos, a la espera de que se terminen de desarrollar soluciones tecnológicamente más avanzadas que permitan modificar las características de los residuos, reduciendo de manera significativa su carga tóxica, y, por ende, su tiempo de almacenamiento forzado en condiciones muy controladas. Un ejemplo de ello es el Almacén de Desechos Radioactivo del El Cabril en España que se muestra en la imagen 7.5.

Imagen 7.5 *– Centro de Almacenamiento de Desechos Radioactivos "El Cabril", España.*

Una de las estrategias tecnológicas en estudio consiste en separar los diferentes elementos tóxicos y radiactivos que aún subsisten en los residuos reciclados, como los actínidos menores y los productos radiactivos de la fisión del uranio 235, e intentar transmutarlos en sustancias con vidas medias más cortas. Cabe destacar que dada la relación entre la vida media y la actividad de una sustancia, el acortamiento de la vida media por la transmutación producirá un mayor nivel de actividad. Desde el punto de vista de la física, esta transmutación es un proceso bien conocido, pero aún no se ha puesto en marcha a escala industrial por cuestiones fundamentalmente económicas. En caso que se consiguiera hacer operativa esta práctica, posterior al reciclado de los residuos radiactivos, se obtendría un avance mayúsculo: reducir los períodos de almacenamiento de los residuos de 10.000 años o más a sólo 100 años, que son lapsos semejantes a los de almacenamiento de los residuos nucleares hospitalarios y de otras ramas industriales.

El tercer camino referido más arriba es proceder directamente a la disposición final de los residuos utilizando los conocimientos tecnológicos actuales. A lo largo del tiempo, se han considerado y/o ensayado diversas opciones, como diluir estas sustancias en la atmósfera o en el mar, enterrarlas en el fondo marino, o enviarlas al espacio (sol). La idea predominante por ahora, es el almacenamiento en un recinto a ubicarse en capas geológicas profundas, estables y secas, el que luego se sellan de tal forma que el hombre no pueda volver a extraerlo. En el mundo se llevan invertidos miles de millones de dólares en el estudio de la mejor estrategia para que este almacenamiento garantice el confinamiento del material radiactivo por sobre los 10.000 años, aunque se produzcan inundaciones, glaciaciones, terremotos o guerras atómicas. Los estudios parecen indicar que esto es posible, pero el

costo final es aún incierto. Esta estrategia también se puede aplicar a los residuos de remanentes del proceso de reciclado.

Al momento actual no existen instalaciones para la disposición definitiva de los residuos de instalaciones nucleares en operación. En cualquier caso, los países adoptan previsiones económicas para disponer de recursos a la hora de proceder a la disposición final de los residuos. Esto se logra mediante un fondo que se obtiene a partir de la venta de la energía generada por la central, a lo largo de su vida útil.

Debe tenerse en cuenta que la gestión de los residuos es parte integrante del proyecto nucleoeléctrico por lo que la toma de decisión respecto a si es adecuado iniciar el camino nucleoeléctrico requiere identificar las alternativas viables para esa gestión.

Durante la fase de análisis, se estima necesario definir las estrategias viables para la gestión de los desechos, a través de los siguientes estudios:

- Situación actual del tratamiento y disposición final de los desechos nucleares en el ámbito internacional, incluyendo investigaciones, perspectivas tecnológicas, capacidades existentes, regulaciones y experiencia específica con este tipo de desechos.
- Estimación de los volúmenes adicionales de desechos de cada categoría que se generarían en cada opción tecnológica.
- Identificación de las opciones viables en Chile para la gestión de los desechos, incluyendo opciones para el almacenamiento a largo plazo.
- Análisis de la viabilidad de compartir un repositorio final conjunto con otros países.
- Estimación primaria de los costos de las opciones para la gestión de residuos, la organización y la forma de financiamiento del mismo.

Conclusiones

Del estudio realizado en este capítulo se puede concluir que no hay ninguna fuente de energía se sea totalmente "limpia" al considerar toda las etapas del ciclo de vida de las centrales generadoras de electricidad. Todas en su utilización para la generación de electricidad provocan un impacto al medioambiente. Por tanto, el aspecto ambiental, es una variable que tiene un peso considerable en el proceso decisorio entre las opciones a ser adoptadas para garantizar la oferta de energía en un país o región.

La generación de electricidad con combustibles fósiles (gas, petróleo y carbón) a nivel mundial provee el 66% de la energía eléctrica y en el caso particular de Chile el 62,7%. Esta forma de generación de electricidad es una de las responsables de la emisión de gases nocivos y de efecto invernadero con efectos negativos sobre el clima, la disminución de la capa de ozono, la lluvia acida y los efectos negativos sobre la biodiversidad.

Por ello, el reto principal para asegurar el progreso económico y social que está íntimamente relacionado con los requerimientos de energía, radica en balancear la demanda creciente de energía con los requerimientos ambientales de manera de conformar una matriz energética consistente con ese principio y por tanto con el desarrollo sustentable.

Un rol importante en satisfacer estos requerimientos para el desarrollo lo pueden jugar las energías renovables (en particular en este estudio la hidráulica, la eólica y la solar) y la energía nuclear en una composición que estará en correspondencia con las características particulares de cada país.

Sin embargo, bajos factores de planta, la dependencia climática, su localización muchas veces alejada de los centros de consumo lo que reduce su competitividad por la construcción de líneas eléctricas adicionales y la solución al almacenamiento de la energía son unas de las limitantes que presentan las fuentes renovables de energía en comparación con la energía nuclear.

Al no generar gas efecto invernaderos y nocivos para el medioambiente, la energía nuclear, como industria altamente desarrollada se perfila como unas de las alternativas más viables para cubrir parte de la demanda creciente de energía, mas aun si existen compromisos de reducción de emisiones, meta cada vez más difícil de cumplir para países desarrollados que han optado por evitar la energía nuclear. Sin embargo, hay un rechazo por parte de la sociedad a su utilización para cubrir parte de la creciente demanda de energía como

consecuencia en particular del accidente de la central nuclear de Chernobyl y la falta de información en relación a esta fuente de energía.

Los desechos radioactivos generados fundamentalmente por el combustible nuclear es otro de los problemas vinculados con el impacto ambiental que pudiera tener esta fuente. Sin embargo, la gestión que se realiza de los mismos tanto en la central nuclear como en las instalaciones de reprocesamiento del mismo y su almacenamiento permite señalar que ese impacto es mínimo, y principalmente relacionado a la construcción y operación del almacén que al producto en almacenamiento y hasta la fecha no han ocurrido accidentes en esta actividad que hayan tenido consecuencias serias en el medioambiente. Por otro lado, la industria nuclear se encuentra desarrollando nuevas tecnología para reducción del volumen de los mismos, así como el nivel de actividad lo que reducirá aun más el posible impacto que pudieran tener los mismos.

Aun así, según índices objetivos, incluyendo la opinión de especialistas de distintas disciplinas, incluyendo el medioambiente, la operación de las centrales nucleares en los países que detentan esta tecnología, es adecuada para el medioambiente y la sociedad.

Bibliografía

7.1.- Kryshev I. I., Rjazantsev E. P., Seguridad ecológica del complejo energético-nuclear de Rusia. Moscú: IzdAT. 2000. 384 págs.

7.2.- E. O. Adámov, Proyectos innovadores de reactores nucleares - ¿Capricho de los científicos o imperativo estratégico?, Sitio web oficial NIKIET (www.nikiet.ru).

7.3.- Eficiencia de la tecnología de la energía nuclear: criterios del sistema de dirección del desarrollo / S.I. Rachkov. Moscú: EUFE (Empresa Unitaria Federal Estatal) TSNIIATOMINFORM. 2008.

7.4.- Política energética de la Federación Rusa: Resumen. Agencia Internacional de Energía, París. 1996.

7.5.- Krilov D. A., Influencia de las centrales nucleares y de las centrales energéticas a base de gas natural y carbón al medioambiente y la salud de las personas en Rusia, tomando en cuenta los ciclos de combustión correspondientes para la generación de energía eléctrica. Preprint IBRAE №96-07. Moscú. 1996.

7.6.- Moyseev N. N., Tareas matemáticas del análisis del sistema. Moscú: Ciencia. 1981. 486 pág.

7.7.- Guidance for Comparative Assessment of the Health and Environmental Impacts of Electricity Generation System. IAEA Training Course. Amman. Jordan. 04.10-12.11.1998. P.213.

7.8.- Pigford T. H., Materials and Environmental Release Flowsheets. Teckhnecron Inc. 1972.

7.9.- Krakowski R. A., Bathke C. G., Reduction of Worldwide Plutonium Inventories Using Conventional Reactors and Advanced Fuels: A System Study. Los Alamos. 1999. P.67.

7.10.- Poplavsky V. M., Usanov V. I, Chebeskov A. N., et. al., Evaluación de la eficiencia de las medidas para la disminución del riesgo de difusión de los materiales fisibles en

base a los modelos periciales del análisis de sistema. Energía Nuclear. Vol. 91. Lanz. 5. Noviembre. 2001. 354-362 págs.

7.11.- Ptisyna N. V., Chitaikin V. I., Shibarshov L. I., Plutonium and its Chemical Compounds: the Problems of Nuclear Weapons Non-Profileration. Managing Plutonium Surplus. P.157-170. Kluwer Academic Publishers.

7.12.- Acompañamiento informativo de los procedimientos del desmantelamiento de los objetivos de la energética nuclear. Resumen analítico, Informe de NTTS GAN. Inv. № 440/577, 1992. 96 págs.

7.13.- Factors Relevant to Recyclic or Reuse of Components Arising from the Decommissioning and Refurbishment of Nuclear Facilities: Technical Report Series 293, Vienna. IAEA, 1988.

7.14.- MacLauchlan A., NEA Study Finds Waste Weight is Key to Decommissioning Cost. Nucleon. Weeks. 32. No. 42. P.1-9.

7.15.- Oussanov V. I., Pankratov D. V., Popov E. P., et al., Long-Lived Residual Activity Characteristics of Some Liquid Metal Coolants for Advanced Nuclear Energy Systems. Global`99. Int. Conf. on Future Nuclear Systems. 30.08-02.09.1999. Jackson Hole. Wyoming. USA. 1999.

7.16.- Popov E. P., Zabrodskaja S. V., Tsikunov A. G., Usanov V. I., Estimación de los límites admisibles del contenido de las mezclas en los materiales de la pantalla, los cuales no exigen enterramiento y defensa de los reactores rápidos. Preprint FEI-2592, Obninsk, 1997.

7.17.- Horasanov G. L., Blokhin A. I., Bases de la creación de un refrigerante de plomo de baja actividad con un enriquecimiento isotópico para instalaciones perspectivas energético-nucleares. Cuestiones de la Ciencia y la Técnica Nuclear. Azufres. Constantes nucleares. Lanz.1. 2001. 131-143 págs.

7.18.- Cierjacks S., Low-Activation Fusion Materials Development and Related Nuclear Data Needs, Proc. of Advisory Group Meeting, IAEA-572, Vienna. 1990. 53 p.

7.19.- Usanov V. I., Tsikunov A. G., Trojanov M. F. y otros, Radioactividad remanente de los materiales al dar de baja a los reactores rápidos. Energía Nuclear. T.78. Lanz.6. 1995. 417-425 págs.

7.20.- Oussanov V. I. et al., Potential of the Non-Waste Concept under NPP Decommissioning, Global`2001, Paris, France, 09-13.09.2001.

7.21.- Rachkov V. I. y otros. Eficiencia de la tecnología de la energía nuclear. Criterios de sistema y las direcciones del desarrollo. TSNIIATOMINFORM. 2008. 228 págs.

7.22.- O. E. Muratov, M. N. Tihonov, Desafíos globales a la energética nuclear de Rusia. Proatom.ru. 02.11.2007.

7.23.- Koryakin U. I. Alrededores de la energética nuclear de Rusia: nuevos desafíos - Moscú: GUP NIKIET, 2002.-334 págs.

7.24.- Ivanov S. N. Estado moderno y dinámica del desarrollo del complejo de energía nuclear de Rusia // Izv. AN. Energética, 2007, № 1, 3-9 págs.

Capítulo 8

Costo de la Energía Nuclear[133]

8.1. Ventajas económicas de la energía nuclear

En la primera parte del estudio se señaló que las reservas de combustible fósiles del planeta se están agotando, pero a pesar de esto su uso sigue siendo la principal forma de producir electricidad y los impactos sobre el medioambiental por la utilización de estas fuentes de energía se comienzan a percibir en el cambio climático a nivel mundial. En directa relación con la creciente escasez de recursos y como una medida para frenar el calentamiento global, las naciones han suscrito acuerdos que tienen incidencia en el mercado de los combustibles, tales como el Protocolo de Kioto, firmado por la mayoría de los países del mundo y cuyas normas para la reducción de emisiones implican una exigencia adicional a la complicada industria de generación eléctrica tradicional.

Pero desde el punto de vista de la energía nuclear este aspecto significa una ventaja importante, por las siguientes razones:

1. Baja contribución del precio del combustible en la estructura del costo de generación de la energía eléctrica y en correspondencia, una baja sensibilidad a las fluctuaciones del precio del combustible en el mercado.

2. Aseguramiento de un volumen estable de suministro de electricidad a un precio estable durante un periodo largo de tiempo.

3. Mínima influencia en el medioambiente y por lo tanto la posibilidad de utilizar la energía nuclear para consumir en el mercado interno del país las cuotas de carbono conforme a lo establecido en los mecanismos del Protocolo de Kyoto.

Adicionalmente se puede establecer que debido a los altos costos de extracción y transporte del petróleo, gas y carbón, la energía eléctrica producida por una central nuclear es más barata en comparación a estas, ya que el combustible nuclear que en ella se emplea tiene costos de extracción y de transporte significativamente menores. La Figura 8.1 ofrece una

[133] Este capítulo se desarrolla para cumplir con los requerimientos del mandante establecidos en Términos de Referencia, en particular, al requerimiento de analizar los diferentes aspectos económicos de la generación de electricidad y su comparación con las fuentes de energía que se evalúan en el estudio.

comparación entre los costos de generación de la energía eléctrica para diferentes fuentes de energía.

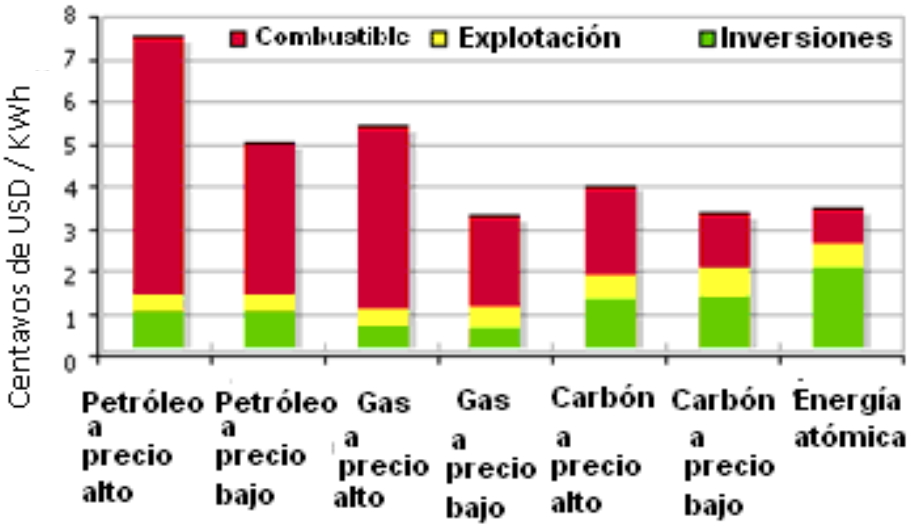


Figura 8.1 *- Costo de generación de la energía eléctrica, producida con diferentes tipos de combustible.*

Por lo anterior, es importante recalcar que una de las ventajas importantes y significativas de la energía nuclear es la estabilidad del precio en el largo plazo. Los componentes de la estructura del costo de la generación de electricidad de origen nuclear son notablemente diferentes a los otros tipos de energías. Esto se debe a que el costo de la generación está directamente relacionado con las inversiones de capital que son requeridas para la construcción de las centrales nucleares y no por el costo del combustible. Muy distinta es la situación cuando las centrales son a petróleo, gas o carbón. Para el cálculo del precio de la energía eléctrica producida por una central nuclear, el componente combustible no constituye más de 25%, en cambio para las centrales termoeléctricas fósiles este componente puede llegar hasta el 80% (Figura 8.1). Esta es la principal particularidad que permite asegurar estabilidad en los precios de la energía eléctrica de origen nuclear, lo que garantiza al usuario final seguridad y precios asequibles, además influir sobre la fluctuación de precios que ejercen otras fuentes de energía sobre el mercado.

En la Figura 8.2[134] es posible apreciar el aumento significativo -de aproximadamente el doble- del precio de combustibles como el gas y carbón, con respecto al combustible nuclear, valor que es empleado para determinar el costo de la energía eléctrica producida usando estas fuentes. El aumento de este componente (combustible) genera un aumento del precio de la energía eléctrica en un 9% en las centrales nucleares, un 31% en las centrales de carbón y un 66% en las que utilizan gas.

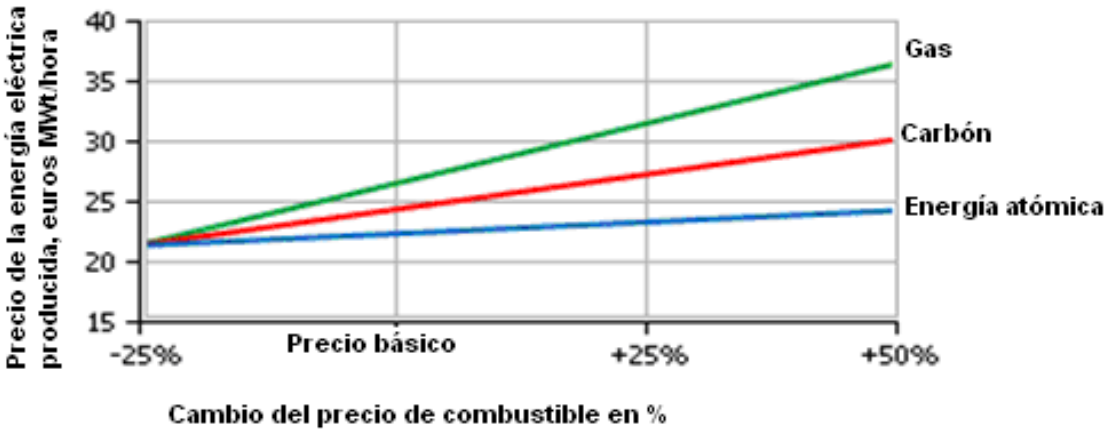


Figura 8.2. - Dependencia del precio del combustible en el costo de la energía producida.

Así, la energía nuclear adquiere un rol importante en el mercado por su mayor independencia del precio del combustible que utiliza con respecto al precio final de la electricidad que produce. Si esto lo comparamos con las ventajas de las fuentes de energía renovable (como la accesibilidad y su amplia difusión) el resultado es similar, tanto por la inestabilidad y lo impredecible de la fuente renovable, así como por la alta inversión de capital que requieren.

8.2. Costos de la construcción y operación de las centrales nucleares

Uno de los argumentos de los detractores de la energía nuclear es el aspecto relativo a las altísimas inversiones de capital que son requeridas para las primeras etapas de la

[134] Tarjanne Risto, Kivistö Aija, Comparison of electricity generation costs, Lappeenrante University of Technology, Faculty of Technology, Department of Energy and Environmental Technology Research Report EN A-56, Finland, 2008.

construcción de una central núcleo- eléctrica. Si bien esto es correcto, ya que los costos de inversión sobrepasan por ejemplo a los de una central hidroeléctrica de similar potencia, estos se compensan rápidamente con la diferencia favorable en el precio del combustible, principalmente y a la estabilidad en el tiempo

Por eso, para evaluar la competitividad de los diferentes tipos de centrales, es imprescindible considerar todos los gastos e ingresos en que se incurre, desde el principio de la construcción hasta el desmantelamiento de sus instalaciones. Son muchos los factores que influyen en los índices de rentabilidad y competitividad del proyecto, pero entre los más importantes se pueden distinguir la tasa de descuento, las inversiones de capital para la construcción, los gastos de operación (incluido el precio del combustible), el coeficiente del uso de la potencia instalada (factor de planta), los gastos de desmantelamiento y los costos medioambientales, entre otros.

Puede decirse, que el factor principal que define la competitividad del proyecto es el costo de la energía eléctrica, el que a su vez depende en forma importante de todos los factores antes mencionados. Por esto, al momento de tener que optar por una central nuclear o una de carbón, por ejemplo, la balanza puede inclinarse a favor de una o de otra, tan sólo cambiado cualquiera de estos parámetros.

Un método internacionalmente aceptado para el cálculo del costo de generación de la energía eléctrica, es el método de los costos nivelados (livelised cost method). Este método consiste en igualar el flujo de gastos (capital, operación, desmantelamiento) con el flujo de ingresos de la venta de energía eléctrica. Como los ingresos por la venta de energía eléctrica ya tienen incluido el costo unitario de generación entonces, a partir de esta ecuación se puede determinar la influencia de la tasa de descuento, el factor de planta y otros gastos en el costo unitario de generación de la energía eléctrica.

Es decir, según esta metodología, para calcular el precio de la energía eléctrica en centavos de dólares de los Estados Unidos por KWh (o en dólares por un MWh) hay que sumar las inversiones del capital amortizadas y los gastos corrientes de operación.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que para construir una central nuclear se debe gestionar la obtención de recursos para financiar la obra ya sean propios o a través de financiamiento externo (créditos). Ambas alternativas tienen un costo, a corto plazo y/o largo plazo, que se refleja en la tasa de descuentos, la que también debe ser considerada al definir la cuantía de las inversiones de capital y del costo de la energía eléctrica.

8.2.1. La tasa de descuentos

Por tasa de descuento habitualmente se entiende el índice apropiado que indica el rendimiento necesario de capital en un plazo determinado. Esta tasa, en primer lugar, depende de las tasas de mercado a largo plazo (que ya contiene las expectativas inflacionarias) y las de riesgo, que van implícitas en el proyecto y son muy importantes para los inversionistas. Una alta tasa de interés va a subvalorar los ingresos en el tiempo y como consecuencia, va a demandar un aumento del precio de la energía eléctrica para cubrir los gastos que, como se sabe, se efectúan en un porcentaje importante en la etapa de la construcción de la central, por lo que se descuenta en menor grado.

El costo de la energía eléctrica producida por una central nuclear es sensible a la tasa de descuento y al factor de planta (coeficiente del uso de la potencia instalada). A modo de ejemplo, los datos siguientes: la investigación del costo de la energía eléctrica, producida por las centrales nucleares y de carbón en la India[135], demostró que un aumento de la tasa de descuento de un 5% a un 10% significaría un aumento del costo de la energía eléctrica de las centrales nucleares en un 40%, y del resto de centrales en un 20%.

Estos datos se correlacionan con los publicados en World Nuclear Association en 2008, que claramente demuestran que con una tasa de descuento de un 5% y un 10% tiene lugar un aumento del componente de los gastos, lo que es un rasgo característico de las tecnologías eléctricas que son intensivas en capital inicial (ver Tabla 8.1[136]). Con una tasa de descuento de un 5%, el nivel de los costos para la producción de la energía eléctrica en una central nuclear fluctúa en un rango de 23~48,9 USD$/MWh, y con un 10% entre un 31,7~68,6 USD$/MWh.

Tabla 8.1 – Proyección de costos de la generación de electricidad del OECD para el año 2010 con tasas de descuentos 5-10%.(2003 US cent/KWH, tasa descuento 5 y 10%, factor de planta 85%.

País	Nuclear		Carbón		Gas	
	5 %	10%	5 %	10%	5 %	10%

[135] L. A. Sachenko, Las bases metodológicas de la administración del riesgo en la energía nuclear, Autoreferat de la tesis a Candidato a Doctor en Ciencias Económicas, 2006.
[136] Tomado de el sitio WEB de la World Nuclear Association: http://www.world-nuclear.org/info/inf02.html. OECD/NEA, 2005.

País	Nuclear		Carbón		Gas	
	5 %	10%	5 %	10%	5 %	10%
Finlandia	2,76	4,22	3,64	4,45	--	--
Francia	2,54	3,93	3,33	4,42	3,92	4,30
Alemania	2,86	4,21	3,52	4,09	4,90	5,00
Suiza	2,88	4,38	--	--	4,36	4,65
Holanda	3,58	5,32	--	--	6,04	6,26
Rep. Checa	2,30	3,17	2,94	3,71	4,97	5,46
Eslovaquia	3,13	4,55	4,78	5,52	5.,59	5,83
Rumania	3,06	4,93	4,55	5,15	--	--
Japón	4,89	6,86	4,95	6,91	5,21	6,38
Corea	2,34	3,38	2,16	2,71	4,65	4,94
EE.UU.	3.,01	4,65	2,71	3,65	4,67	4,90
Canadá	2,60	3,71	3,11	4,12	4,00	4,36

En atención a lo anterior, es posible definir cómo la competitividad del proyecto está sujeta a eventuales riesgos por cambios de valores en los parámetros variables o definibles, como lo son la tasa de descuento, el coeficiente del uso de la potencia instalada o factor de planta y el precio del combustible, los que en conjunto finalmente permitirán determinar el costo de la energía eléctrica en esas condiciones.

8.2.2. Inversiones de capital

Para establecer un patrón de la inversión requerida para construir nuevas unidades de una central nuclear es necesario contar con información histórica que lamentablemente es muy escasa, debido principalmente a que en los últimos diez años han sido puestas en marcha pocas centrales, lo que hace que la información sea limitada y a veces contradictoria.

Como se sabe, para la construcción de una central eléctrica la inversión de capital es elevada, lo que hace que, al definir la tasa de descuento, influya considerablemente en el costo de la energía eléctrica producida. Las investigaciones en este campo demuestran que incorporando los últimos logros y mejoras tecnológicas, las centrales nucleares han conseguido ser más económicas que las eléctricas que operan con combustible fósil. Por esto, entonces, las inversiones de capital varían mucho dependiendo del tipo de central que se trate. Por ejemplo, los gastos involucrados en la construcción de una central nuclear son más altos que para la construcción de una central térmica. Esto hace que para aquellas centrales con tecnologías que hacen uso de fuentes renovables de energía, el nivel de inversión de capital alcance a un 90% de la electricidad producida. El costo de la energía eléctrica producida por la central eléctrica, en más de dos terceras partes corresponde a inversiones del capital.

Durante la construcción de la central nuclear es cuando se realizan las inversiones reales en equipos y recursos humanos que son utilizados para todas las actividades de ingeniería y construcción en fase inicial del proyecto. Dentro de las inversiones de capital se puede entender: costos temporales (overnight costs) y tasa de descuento (ver Tablas 8.2, 8.3 y 8.4).[137]

Tabla 8.2 - *Inversiones en la construcción de centrales nucleares en 2005.*

Tasa de descuento del capital 5%		**Tasa de descuento del capital 10%**	
País	Costos específicos de capital	País	Costos específicos de capital
China	1.000	China	1.750
Rusia	1.290	Rusia	1.740
Francia, Canadá, República Corea, EEUU, Brasil	1.500	EEUU, Canadá, Rumania	2.000
Finlandia. España	2.250	Finlandia, Turquía, China, Brasil, India	2.500
Japón		Japón	>3.000
Promedio de los países	1.500		2.630

[137] L. A. Sachenko, Las bases metodológicas de la administración del riesgo en la energía nuclear, Autoreferat de la tesis a Candidato a Doctor en Ciencias Económicas, 2006.

Tabla 8.3 - *Los parámetros técnicos y costos de centrales a gas*

País	Potencia Instalada [MW]	Eficiencia térmica [%]	Costo KW [USD$]	Costo KW	
				5% (USD$/KW)	10% (USD$/KW)
Bélgica	350	52,6	761	820	884
Canadá	1.500	45,0	536	752	733
Dinamarca	337	57,0	809	887	971
Finlandia	700	56,0	622	689	727
Francia	660	52,0	739	923	918
Hungría	389	48,7	595	708	762
Italia	700	53,0	652	691	732
Japón	700	53,3	1.640	1.703	1.771
Corea	450	53,1	583	661	671
Holanda	250	54,0	725	871	909
Portugal	459	51,5	697	771	820
España	315	51,0	663	753	854
Turquía	1.360	35,4	402	440	468
EE.UU.	250	50,0	422	502	509
Brasil	900	50,0	677	1.001	861
Rusia	1.440	56,0	721	782	847
Centrales cuyos proyectos se realizan entre 2005 - 2010					
Holanda	350	60,0	664	804	836
EEUU	350	60,0	419	452	453

Tabla 8.4 - *Parámetros técnicos y de costo de las centrales a carbón.*

País	Potencia Instalada [MW]	Eficiencia térmica [%]	Costo KW [USD$]	Costo KW	
				5% [USD$/KW]	10% [(USD$/KW)
Bélgica	400	43,2	1.386	1.523	1.671
Canadá	3000	38,6	837	1.133	1.164
Dinamarca	400	47,5	1.329	1.447	1.574
Finlandia	500	42,0	885	983	1.039
Francia	572	42,0	1.346	1.584	1.770
Hungría	918	38,6	1.318	1.419	1.523
Italia	2.68	44,0	1.173	1.365	1.490
Japón	930	44,1	2.561	2.739	2.930
Corea del Sur	500	41,0	1.174	1.300	1.438
Holanda	600	45,0	1.254	1.494	1.635
Portugal	411	41,7	1.902	2.176	2.391
España	500	36,7	1.326	1.490	1.671
Turquía	340	34,0	1.476	1.641	1.819
EE.UU.	300	40,0	1.009	1.277	1.348
Brasil	315	33,0	1.258	1.735	1.589
China	1.200	39,0	772	966	1.114
India	920	34,0	935	1.002	1.048
Rusia	1.200	38,0	1.291	1.439	1.601

País	Potencia Instalada [MW]	Eficiencia térmica [%]	Costo KW [USD$]	Costo KW	
				5% [USD$/KW]	10% [(USD$/KW)
Centrales, cuyos proyectos se realizan entre 2005 -2010					
Holanda	800	47,0	1.553	1.842	2.022

País	Potencia Instalada [MW]	Eficiencia térmica [%]	Costo KW [USD$]	Costo KW	
				5% [USD$/KW]	10% [(USD$/KW)
EE.UU.	380	49,0	1.154	1.445	1.532

El análisis de estos datos demuestra, que en igualdad de condiciones, prácticamente en todos los países examinados, las inversiones de capital para la construcción de las centrales nucleares son más elevadas que las requeridas para la construcción de las centrales similares de gas (Tabla 8.3) y similares o más bajas, que las inversiones para la construcción de las centrales a carbón (Tabla 8.4).

Los gastos temporales no se consideran para determinar el valor de la tasa de descuento, pero esta tasa si incluye los gastos de los trabajos de investigación y desarrollo, suministro de equipos, trabajos de construcción y montaje, trabajos de servicio, costos de adquisición y gastos impredecibles. Durante la fase de construcción se definen la forma y cuantía de pagos de interés por concepto de financiamiento, independiente de donde provenga. Es así entonces, que una vez que la central nuclear comience a generar energía eléctrica, la central es capaz de pagar por si misma los gastos temporales y el interés de la inversión. En resumen, el precio de la energía producida debe cubrir estos gastos, así como también todo el resto de los gastos relacionados y relativos con la compra del combustible, mantenimiento técnico y operación de la central.

Tal como se ha mencionado, una parte considerable de la estructura del precio de la energía eléctrica producida en las centrales nucleares corresponde a la inversión de capital, cifra que alcanza en promedio a un 70-80%[138]. Esta cifra se sustenta en que debido principalmente, a que las tecnologías nucleares son consideradas “jóvenes” y, en donde, los gastos por concepto de seguridad son elevados.

Esta situación no debiera mantenerse en el tiempo ya que en un futuro no muy lejano se espera un descenso de este componente generado en forma importante por una estandarización de los proyectos de las actuales centrales nucleares, más un aumento de la potencia energética por reactor, producto de la acumulación de experiencia y su aplicabilidad en forma directa en cada nuevo proyecto de construcción, y por el uso

[138] The New Economics of Nuclear Power, World Nuclear Association Report 2008.

efectivo de sistemas pasivos de protección y, además, por una disminución de los plazos de construcción y por el uso de tecnologías más eficaces en este tipo de construcciones industriales de gran tamaño.

Otro factor importante al momento de evaluar la inversión de capital al construir una central nuclear, es el plazo de la construcción. Mientras más tiempo se necesite para la construcción, más serán los gastos incurridos durante su ejecución, lo que retrasa el momento de la puesta en marcha e inicio de la operación comercial, y por lo tanto, retrasan los ingresos por concepto de la comercialización de la energía. Obviamente las centrales nucleares, en sí mismas, como proyectos tienen un ciclo de vida más extenso y duradero que el requerido para la construcción propiamente dicho; por esto, el aspecto más importante es lograr una eficiente administración del proyecto, lo que considera e incluye la organización, planificación, dirección, coordinación de los recursos humanos, equipos, tecnología especializada y materiales durante el ciclo vital del proyecto, todo esto con el objeto de conseguir resultados favorables en relación a las mediciones de los índices de volumen de trabajo, costo, tiempo y calidad.

Debido a la importancia de la administración de estos proyectos, en los últimos diez años se formó una nueva especialidad: “La prestación de servicios de administración de proyectos de construcción de centrales nucleares”. Es así entonces, que la tarea principal y una parte importantísima de los nuevos proyectos para la construcción de una central nuclear que incorporan sistemas automatizados de diseño y una gestión eficiente y efectiva de la información técnica proyectada para todo el ciclo vital de la central, permiten en definitiva garantizar resultados uniformes y estándares de este tipo para ser utilizados en estos proyectos.

En los actuales proyectos de inversión, considerados “más modernos”, la producción, la potencia y el lugar de emplazamiento de la central se definen en la etapa de “diseño conceptual” del proyecto y de los trabajos de desarrollo experimental (DCE). En esta misma etapa, se toman las decisiones respecto a los procesos, estrategias de producción, sistemas logísticos y de información. Estas decisiones son claves e influyen directamente en el costo final del proyecto de inversión de la central nuclear, en los costos futuros de su operación y en la rentabilidad general.

Que un proyecto sea económicamente atractivo depende directamente de la modalidad integral de su administración, de una correcta planificación de las tareas y resultados del Diseño Conceptual Experimental (DCE) y de la oportunidad de la incorporación de estos resultados al proyecto en ejecución, de modo de poder hacer los ajustes correspondientes antes del inicio de la construcción.

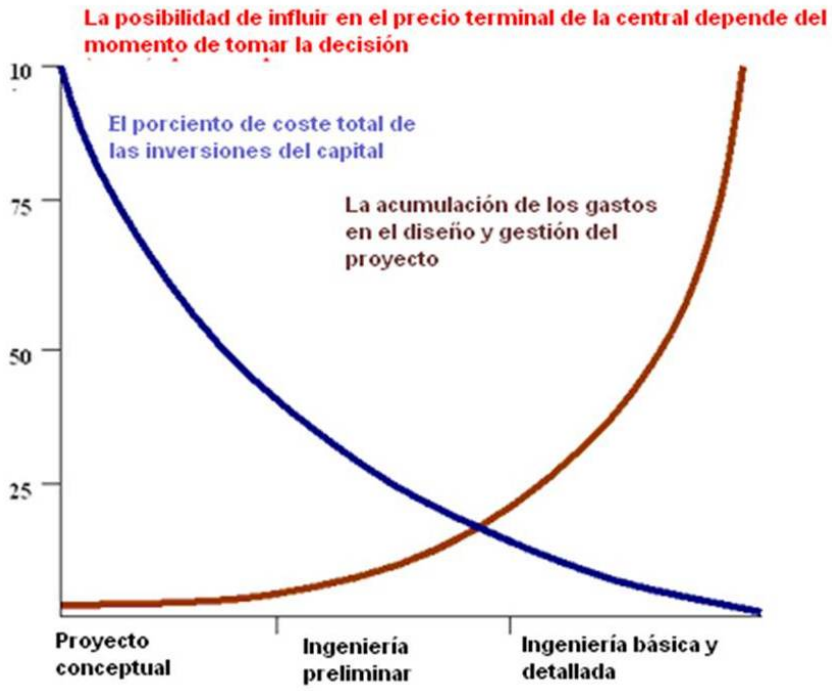


Figura 8.3. Influencia del tiempo de decisión en el costo final de la central nuclear.

Las eventuales economías que se pueden obtener de los principales gastos en estos proyectos se pueden alcanzar solo mediante la realización anticipada del DCE[139] (Figura 8.3) el que argumenta y determinan con exactitud los siguientes parámetros:

- La viabilidad técnica
- Los recursos y la rentabilidad.
- Los riesgos y la exposición del medioambiente.
- La planificación de la infraestructura.
- La integración de los participantes en base al sistema unificado de información;
- El ciclo vital.
- Los costos de inversión[140]

[139] V. V. Kovaliov, Bases de la gestión financiera, M.: Finanzas y Estadística, 2000.
[140] U. V. Fedósova, Competitibilidad de las tecnologías de energía nuclear: Análisis económico, Estrategia atómica, No. 6, 2005.

A continuación se muestra una tabla unificada de las actividades organizacionales enfocadas a conseguir una disminución o eliminación de aquellos factores de riesgo que influyen negativamente en los plazos de realización de los proyectos, para la puesta en marcha de nuevas centrales nucleares.

Tabla 8.7 - *Actividades para conseguir un aumento o disminución de los riesgos a medida que se incrementa el periodo de puesta en marcha de una central nuclear.*[141]

Riesgo	Consecuencias del riesgo (factor, que demora la puesta en marcha de la unidad energética)	Actividad de disminución (eliminación) de riesgo	Resultado esperado
1. Inexactitudes de la producción (latentes). 2. Desperfectos en la construcción (latentes, reveladas durante el ensayo). 3. Desperfectos en los ensayos de entrega en la fábrica.	Eliminación de los desperfectos revelados o provenientes de una adaptación defectuosa del equipo (la reparación, modernización o el reemplazo) Detenciones no planificadas para eliminar los defectos del equipo.	La participación del personal de las organizaciones de la puesta en marcha, en las pruebas de entrega en las fábricas productoras del equipo.	Disminución de la probabilidad de suministro de equipo que no corresponde al proyecto.
		El testeo y algunos ajustes del equipo en los stands especiales hasta su entrega para el montaje (armadura electrificada de los aparatos protectores).	La entrega para montaje del equipo comprobado y previamente ajustado.

[141] Saakov E. S., Riasny S. I., Fomín M. N., Optimización de la duración y de los gastos para la puesta en marcha de una central nuclear, Recopilación MNTK-2008, M, 2009.

Riesgo	Consecuencias del riesgo (factor, que demora la puesta en marcha de la unidad energética)	Actividad de disminución (eliminación) de riesgo	Resultado esperado
		Diseño y producción del equipo estático y móvil (stands), contando los complejos móviles para el diagnostico técnico de la armadura, el ajuste de las válvulas de seguridad etc.	El equipamiento en el emplazamiento de la central nuclear, con el equipo para realizar pruebas tanto durante la puesta en marcha, tanto durante la operación.
Deficiencias en el análisis del proyecto hasta el inicio de los trabajos de puesta en marcha (TPM). Desperfectos del proyecto. Desperfectos de la tecnología del proyecto (documentación del proyecto).	Eliminación de discordancias y errores del proyecto, revelados durante los TPM. Realización de un nuevo ensayo después de modificar el proyecto.	Análisis del proyecto de la central nuclear por parte de las organizaciones participantes en la PM (puesta en marcha) en la etapa de diseño del proyecto técnico (participando incluso en las decisiones de diseño, esquemas , algoritmos, de la seguridad, de la protección tecnológica y bloqueos etc.)	Reducción en la cantidad de desacuerdos el proyecto. Descenso de la cantidad de modificaciones del proyecto, efectuadas en el proceso de la puesta en marcha de la unidad, según los resultados de los TPM.

Riesgo	Consecuencias del riesgo (factor, que demora la puesta en marcha de la unidad energética)	Actividad de disminución (eliminación) de riesgo	Resultado esperado
Documentación inadecuada con respecto a la puesta en marcha del proyecto, correspondiente a los ensayos en las unidades energéticas de serie	Realización de los ensayos en las unidades de serie de las centrales nucleares a nivel de los ensayos de la unidad de cabeza de serie dada (los ensayos y las medidas amplias de la unidad de la central nuclear, contando el uso de los aparatos de medición supernumerarios deben efectuarse sólo en las unidades de cabeza)	Explicación de la reducción del número de experimentos y mediciones físicas a las unidades de serie de las central nuclear con la zona activa estándar	Reducción de la duración de las etapas de marcha física y energética.
		Optimización del número de los sistemas de pruebas de puesta en marcha (SPPM). El uso máximo para las mediciones de los sistemas de diagnósticos reglamentarios.	Reducción del volumen de trabajos durante las pruebas, el montaje y desmontaje de los SPPM.
Número no óptimo pruebas dinámicas y termohidráulicas	Sobre evaluación del número de las pruebas dinámicas y termohidráulicas del mismo tipo, efectuadas en las etapas de la EI y EIE.	Optimización del número de pruebas dinámicas y termo hidráulicas en las etapas de la EI y EIE. Reducción de la cantidad de pruebas	La disminución en el costos de los materiales y del trabajo y de la vida del equipo

Riesgo	Consecuencias del riesgo (factor, que demora la puesta en marcha de la unidad energética)	Actividad de disminución (eliminación) de riesgo	Resultado esperado
		del mismo tipo, repetidas en diferentes niveles de potencia.	
1. La no concordancia entre el presupuesto de suministros y montaje del equipo con el gráfico de los TPM. 2. El incumplimiento del presupuesto de suministro.	Un desorden en la secuencia del montaje del equipo de acuerdo a los sistemas de secuencia del cumplimiento de los TPM, que también puede estar causado por el incumplimiento del gráfico de suministro	Organización de la administración del proyecto para la puesta en marcha de la unidad de la central nuclear con el uso de la SAI de la construcción, del suministro y de la puesta en marcha a base del software moderno	Realizar el suministro y montaje del equipo en tal orden que garantiza el cumplimiento consecutivo de los TPM
Falta de preparación de los trabajos de construcción, montaje del SAD PT y del suministro de la energía eléctrica para suplir sus propias necesidades.	La “No” aprobación de las tareas cumplidas para cumplir con el suministro de la energía eléctrica a los consumidores debido a esquemas temporales y manejo manual de los aparatos electro propulsores y el control organoléptico	La incorporación oportuna de los subsistemas y del equipo de los SAD PT, necesarios para el inicio de los TPM (en la parte de control del equipo de la unidad energética, del control y registro de los parámetros).	Exclusión de la repetición y del reemplazo de los ensayos.

Riesgo	Consecuencias del riesgo (factor, que demora la puesta en marcha de la unidad energética)	Actividad de disminución (eliminación) de riesgo	Resultado esperado
	de funcionamiento del equipo. La repetición de ensayos, su reemplazo a las etapas más remotas de los TPM.	El termino del suministro de energía para suplir las necesidades propias requeridas para el inicio de la etapa "trabajos antes de la puesta en marcha"	

Cabe destacar que al momento de evaluar las inversiones específicas de capital, provenientes de diferentes fuentes, éstas se diferencian mucho entre sí. Lo complicado de este análisis es que en muchos casos esta información es confidencial, luego no se tiene acceso a ella, por lo tanto no se cuenta con una fuente de análisis. Por otra parte, existen algunas fuentes de información abiertas en donde se puede realizar un análisis comparativo de los resultados de las investigaciones al respecto, que contienen datos de análisis de costos de la producción de la energía eléctrica con tecnologías diferentes. Un resumen de esto se muestra en la Tabla 8.6.[142]

Tabla 8.6 *- Comparación de costos de la construcción de nuevas potencias de generación.*

	Instituto Tecnológico de Massachusetts	Ministerio de economía, industria y finanzas de Francia	TARJANNE & LUOSTRAINEN (Finlandia)	Academia Real de Ingenieros	Universidad de Chicago	Asociación nuclear Canadiense

[142] The New Economics of Nuclear Power, World Nuclear Association Report, 2008

Divisa	**$**	**€**	**€**	**£**	**$**	**Can$**
Inversiones de capital por KW						
Nuclear	2.000	1.280	1.900	1.150	1.500	2.347
Centrales de gas	500	523	600	300	590	711
Centrales de carbón	1.300	1.281	860	820	1.189	1.600
Plazos de construcción (años)						
Nuclear	5	5	5	5	5	5
Centrales de gas	2	2	2	2	2	2
Centrales de carbón	4	4	4	4	4	4
Tasa de descuento (%)						
Nuclear	11,5	8	5	7,5	12,5	8
Centrales de gas	9,6	8	5	7,5	9,5	8
Centrales de carbón	9,6	8	5	7,5	9,5	8
Precio del gas	3,50/MBTU	3,30/MBTU	3,00/GJ	2,18/GJ	3,39/MBTU	6,47/Mcf
Costo de la energía eléctrica por MWh						
Nuclear	67	28	24	23	51	53
Centrales de gas	38	35	32	22	33	72
Centrales de carbón	42	34	28	25	35	48
Costo de la energía eléctrica v/s el precio de la energía de la central nuclear, en %						
Nuclear	100	100	100	100	100	100

Centrales de gas	57	125	133	96	65	136
Centrales de carbón	63	121	117	109	69	89

MBTU – miles de unidades térmicas británicas;

Mcf – miles de pies cúbicos

Las principales causas que originan las discrepancias en las evaluaciones tienen explicaciones objetivas, de acuerdo a lo siguiente:

- Al usar diferentes tecnologías de reactores, se originan diferentes evaluaciones de los costos de producción para los diferentes componentes de los equipos y tecnologías.

- A menudo, al calcular el costo, no se toman en consideración los gastos relacionados con la realización del primer proyecto de serie (FOAKE[143]), que puede alcanzar a un 30~50% del precio declarado del proyecto.

- Los montos registrados de las inversiones de capital no contienen los gastos indirectos (por ejemplo, el mantenimiento técnico, algunos materiales y equipos, mano de obra complementaria, entre otros) que si debieran estarlo.

- Es frecuente, y argumentando el monto final del proyecto, los investigadores de los diferentes proyectos se basan en diferentes parámetros con diferentes valores, para establecer la tasa de descuento.

- Al calcular el costo de la energía eléctrica que va a producir la central se pueden considerar diferentes años de servicio (vida útil) de la central nuclear, cifra que puede fluctuar ente 40~60 años.

- Los investigadores de cada proyecto utilizan diferentes supuestos para calcular el costo del desmantelamiento de la central, el que fluctúa alrededor de 5%; que obviamente depende de la duración de la prestación de servicio y del volumen de trabajos para el desmantelamiento que conlleva el proyecto.

- Finalmente, respecto a los diferentes niveles de vida en diferentes países, al evaluar los costos del personal se utilizan diferentes cifras iniciales.

[143] First Of A Kind Engineering: Primero de una ingeniería tipo.

A pesar de la divergencia bastante amplia de los resultados mencionados en la investigación, su análisis comparativo permite llegar a la conclusión de que la energía nuclear es competitiva en comparación con otras con otras fuentes de energía a una tasa de descuento del 8% y menos y, con una inversión de capital de 1.800 USD$/KWh. Los datos, informados por los productores y los resultados de la realización de los actuales proyectos de construcción en Rusia, China e India, permiten considerar estas cifras como reales.

8.3. Costos y riesgos de operación[144]

8.3.1. Riesgos de operación

Como se ha mencionado anteriormente, los principales riesgos se concentran en el período de construcción de la central nuclear, pero adicionalmente, existen una serie de riesgos relacionados con su operación que son importantes de mencionar y conocer.

Los riesgos relacionados con la operación de la central nuclear se dividen en dos categorías:

- **Los riesgos comerciales.** Estos riesgos existen en todo tipo de centrales en magnitudes diferentes, por ejemplo, la variación del precio del combustible, la fluctuación del precio de la energía eléctrica, etc. Los riesgos de combustible para las centrales nucleares son considerablemente más bajos que para las centrales eléctricas tradicionales, así entonces un aumento considerable del precio del combustible nuclear no influye en los ingresos de la empresa. En condiciones de economías de libre mercado, la industria nuclear funciona bajo las regulaciones del operador del sistema energético, el que depende de los costos de producción en el sistema, con esto, las empresas con costos más bajos gozan de prioridad. Es decir, las empresas operadoras de centrales nucleares poseen un suficiente grado de control sobre los precios de la energía eléctrica, pues los costos marginales contribuyen al mantenimiento de la competitividad de estas con respecto al de su competencia que son las centrales de combustible fósil. Antes, algunas centrales nucleares tenían una baja productividad, relacionada directamente con las largas detenciones fuera del plan de mantenimiento, pero últimamente el factor de planta aumentó considerablemente y esto en definitiva se ve reflejado en el precio y en el costo general del proyecto.

[144] L. A. Sachenko, Las bases metodológicas de la administración del riesgo en la energía nuclear, Autoreferat de la tesis a Candidato a Doctor en Ciencias Económicas, 2006.

- **Riesgos de la política vigente y de regulación.** Hay países nucleares que por distintos motivos tomaron la decisión de deshacerse en forma gradual o por completo de la energía nuclear (Italia y Alemania) lo que hizo que tomaran una serie de medidas a nivel de gobierno para acortar la vida útil de las centrales nucleares respecto a lo señalado en el proyecto original. En algunos casos, las empresas a pesar de esta acción, tuvieron que seguir realizando pagos, especialmente lo relacionado con los cumplimientos adquiridos antes de esa decisión política[145] y cumplir además exigencias adicionales de seguridad exigidas por parte de los órganos de vigilancia, también estas motivadas por decisiones políticas. Estos ejemplos demuestran la importancia de la situación política y de la existencia de regímenes estables y predecibles para el control y licenciamiento del desarrollo de la energía nuclear.

8.3.2. Costos de operación

Se entiende como costos de operación a aquellos gastos relacionado con el funcionamiento, reparación y mantención de las centrales nucleares, así como también los costos asociados a los recursos requeridos para la obtención del producto final, entre los que se cuentan los materiales de reposición y modernización y el combustible necesario.

Un factor importante al momento de determinar el costo de la energía eléctrica, producida a partir del carbón y/o gas, es la ubicación de la central. Y, a su vez, la ubicación y tipo de central dependen, principalmente entre muchos otros factores de: la existencia o no de yacimientos naturales de este combustible orgánico en una determinada zona de un país y, la facilidad de acceso a este punto. Es obvio, que mientras más difícil, complicado sea el acceso o que esté muy lejos el yacimiento de la central, esto encarecerá el precio del producto final. Luego se puede decir, en líneas simples que en aquellas zonas que carecen de carbón o gas, o en zonas donde su transporte es difícil, resultará siempre más conveniente construir una central nuclear, a pesar de que se trate un monto de inversión de capital inicialmente más alto.

[145] Un caso en particular es el Programa Nuclear Filipino que por diferentes problemas lo detuvieron en 1986 y el gobierno filipino concluyo de pagar en el 2007 la deuda adquirida, más de 150000 dólares de los Estados Unidos por día.

A continuación se muestran dos tablas con un resumen de los costos medios de producción de energía eléctrica en Estados Unidos y la estructura unificada de los costos de operación de una central nuclear[146].

Tabla 8.7 - *Costos promedio de producción de energía en las centrales nucleares de EE.UU.*

	1981	1985	1990	1995	2000	2003
Costos de operación y mantenimiento	1,41	1,93	2,07	1,73	1,37	1,28
Combustible	1,06	1,28	1,01	0,69	0,52	0,44
TOTAL:	2,47	3,21	3,08	2,42	1,89	1,72

Tabla 8.8 - *Estructura de Costos de Operación de las Centrales Nucleares hacia 2007.*

Costos condicionalmente constantes	Costos variables	% de la producción total
	Combustible nuclear	16,7
Amortización de los fondos principales		11,0
Salario		11,8
Seguro social		4,6
Servicios de carácter		8,2

146 The New Economics of Nuclear Power, World Nuclear Association Report, 2008, basado en información entregada por: Federal Energy Regulatory Commission (USA) y Electric Utility Cost Group (USA)

Costos condicionalmente constantes	Costos variables	% de la producción total
industrial		
Materiales auxiliares		9,6
Transportación y vertido del combustible		2,4
Otros		17,2
Pagos de los créditos bancarios de corto plazo		0,6
Impuesto sobre la tierra		0,4
Impuesto del transporte+ fondo de carreteras		3,0
Descuentos a diferentes fondos		7,1
Otros Costos		2,3
Fondos especiales de investigación		3,8
Coste		81,5
	Recargo de los fondos de circulación	4,0
Contenido de la esfera social		5,12
Desarrollo de la		1,8

Costos condicionalmente constantes	Costos variables	% de la producción total
producción		
Impuestos		7,58
Beneficios		18,5

Es importante recalcar que para las centrales térmicas el parámetro crítico al momento de determinar costos de operación y precio de la energía es el precio del combustible que usa. Esta elevada sensibilidad del precio de la energía eléctrica con respecto al precio del combustible se explica sólo por su alto porcentaje de participación en la estructura de los gastos, y por lo tanto, en el precio final.

Existe un particularidad muy atractiva de las centrales nucleares y es el bajo costo del combustible nuclear en comparación con el carbón y el gas, teniendo en cuenta que ¾ partes del costo del combustible nuclear corresponden no al uranio, sino, a su enriquecimiento y una adecuada preparación para su aplicación en el reactor; y, aún así, es tres veces más barato que el carbón y 4-5 veces más barato que el gas. El uranio es una fuente concentrada de energía, que es fácil y barata de transportar. Un kilogramo de uranio natural es capaz de producir 20.000 veces más energía, que la producida por un kilogramo de carbón.

Así también una central nuclear también requiere de menores gastos de operación. El costo de la energía eléctrica nuclear es 10 veces menor que la energía producida a partir del carbón; pero, se debe recalcar que los gastos del combustible no definen por si solos el costo final de la energía eléctrica, ya que está el factor –importante- de la inversión de capital, que como ya vio, en el caso de la energía nuclear es alto.

8.4. Coeficiente de utilización de la potencia instalada (Factor de Planta)

Debido a la alta inversión requerida para construir una central nuclear, el costo de la energía eléctrica producida es muy sensible no sólo a la tasa de descuento, sino también al coeficiente del uso de la potencia instalada (factor de planta). Por ejemplo, una investigación de una organización científica finlandesa demostró que el aumento del uso de

las potencia instalada (factor de planta) de un 80 % a un 90% origina una disminución del costo de la energía de las centrales nucleares en un 9%, en las de carbón en un 5% y en las de gas en un 3%[147].

El factor de planta permite demostrar cómo se utiliza la potencia instalada de la central eléctrica. Si, por ejemplo, no se consume toda la energía producida por la central, entonces no se usa todo el capital, lo que influye en la competitividad respeto a otros proyectos más económicos.

Es evidente que los costos de operación dependen mucho de la potencia de la central. Al aumentar la potencia se aumenta el consumo del combustible, lo que lleva al aumento del costo de operación y la disminución de la proporción de las inversiones de capital en el costo final de la energía. Entonces la proporción (%) de las inversiones de capital es más alta en las centrales nucleares pues el aumento del factor de planta lleva a una disminución considerable del costo de la energía.

En el periodo 1990-2004 el incremento total de la generación nuclear fue de aproximadamente 714 TWh (aproximadamente un 40%) debido a la combinación de 3 factores fundamentales: un incremento de la disponibilidad de las centrales nucleares[148], nuevas construcciones y modernización de las centrales nucleares en operación. De acuerdo con la Figura 8.4 el factor de planta medio mundial aumentó de un 72,3% en los años 90 a un 83,2% en el 2004 hoy en día. El aumento de la disponibilidad de las centrales nucleares fue el contribuidor fundamental a este incremento[149] (pasando de 72,3% a 83,2%) aportando por tanto el 57 de este incremento. El próximo en importancia fueron las nuevas construcciones de centrales nucleares y por último las modernizaciones de las centrales nucleares en operación.

Esto permite demostrar la comparación del aumento de las potencias nucleoenergéticas en el mundo, que crecen no más que en 1% al año, con la tasa de crecimiento de la producción de la energía eléctrica en las centrales nucleares, que alcanza un rango de hasta un 3% anualmente.

[147] L. A. Sachenko, Las bases metodológicas de la administración del riesgo en la energía nuclear, Autoreferat de la tesis a Candidato a Doctor en Ciencias Económicas, 2006.
[148] International Status and Prospects of Nuclear Power, IAEA, Vienna, 2008.
[149] Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2007, IAEA, Vienna 2008.

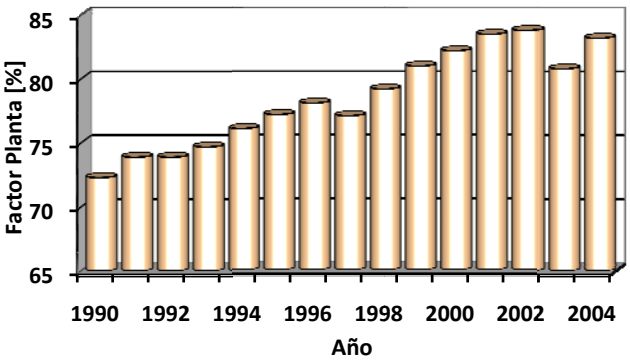


Figura 8.4 *– Comportamient0 medio del factor de utilización de la potencia para las centrales nucleares en el período 1990-2004.*

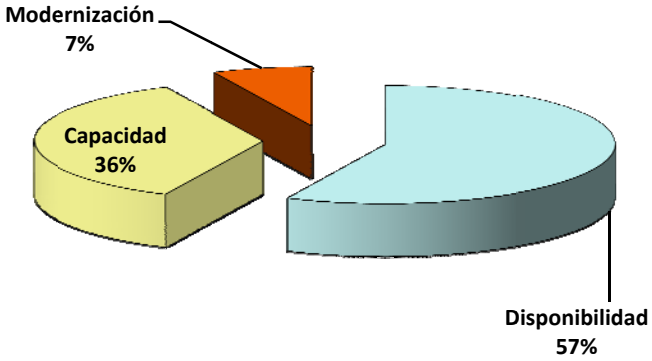


Figura 8.5 *– Factores que contribuyeron al aumento de la generación núcleo-eléctrica en el periodo 1990-2004.*

8.5. Costos de desmantelamiento

En un proyecto de construcción de una central nuclear los costos de desmantelamiento son esenciales porque incluyen todas las operaciones relacionadas con el desarme de la central, las instalaciones y en particular el desmontaje del reactor nuclear. Estos costos alcanzan en promedio entre un 10% y 15% del monto de la inversión inicial, pero después de efectuado

los ajustes por el plazo (60 años) el costo real es del orden de un 5%[150]. La Tabla 8.9[151] ofrece una comparación de estos costos entre los diversos países que cuentan con tecnología nuclear.

Tabla 8.9. *Costos de desmantelamiento de las centrales nucleares en diferentes países.*

País	Tipo de reactor	Potencia [MW]	Variante 1 desmontaje		Variante 2 desmontaje después	
			Costo [millones USD$]	Costo específico [USD$/KW]	Costo [millones USD$]	Costo específico [USD$/KW]
Bélgica	PWR	900-1390	736-394	271-438	464	516
Finlandia	VVER, BWR	735-	178-222	171-178	101-266	137-205
Francia	PWR	1400	492	351	--	--
Alemania	PWR, BWR	70-1300	320-628	266-5029	301-622	239-1414
Suecia	PWR, BWR	465-1300	127-322	167-269	--	--
Gran Bretaña	GCR, PWR	60-1400	517	488	229-694	997-3817
EEUU	PWR, BWR	849-1300	145-228	112-236	164-280	140-216
Eslovaquia	VVER, GCR	440	52-181	118-421	151-187	351-435
Canadá	PHWR	542-1300	68-185	125-196	55-228	101-380
Japón	PWR, HWR, BWR	1100-1350	349	259	326-339	281-308
Rusia	VVER, RBMK, BN	440-1000	--	--	255-545	230-545
Media				475		645

8.6. Costos medioambientales[152]

[150] V. M. Konanenko, Métodos y modelos de la evaluación de los proyectos de inversión de la modernización de los objetos de la energética atómica, Autoreferat de la Tesis a Candidato a Dr. Ciencias Económicas, RGB, 2005.

[151] Ídem 146.

Los costos medioambientales son muy importantes e influyentes en la producción de la energía eléctrica de las centrales y deben ser evaluados, revisados, valorizados, y al mismo tiempo, incluidos en la inversión de capital inicial, esto porque las instalaciones requieren cumplir y estar sujetas a ciertas restricciones de tipo medioambiental que evidentemente afectará su diseño e implementación, lo que puede hacer variar el monto de la inversión. Estos costos deben ser debidamente valorizados mediante la cuantificación de los eventuales daños que puedan producir estas centrales al medioambiente.

Según algunas estimaciones, el costo del impacto de las centrales de carbón en la salud y en el medo ambiente es el doble del costo producido por la energía eléctrica en general y un 30% superior al costo del impacto producido por las centrales a gas.

Además, hay que tener en cuenta que en virtud de la puesta en vigor del Protocolo de Kyoto, el uso del combustible orgánico está vinculado con una carga fiscal complementaria de las empresas. Luego, según los cálculos de la Sociedad Nuclear Canadiense, la liberación en la atmósfera de una tonelada de CO_2 cuesta a la empresa responsable 16 dólares canadienses. Esto evidentemente ocasiona un aumento de los costos de la producción de 1 MWh en las centrales de carbón, el cual según cálculos de especialistas, es un 27 % en el carbón y en un 8% para la central a gas.

8.7. Incentivos para proyectos de construcción de nuevas centrales nucleares

Es una práctica normal en algunos países el diseñar medidas o políticas dirigidas a estimular las inversiones en nuevas unidades nucleares. Como regla general en estos casos se proponen nuevos mecanismos de licenciamiento y planificación, cuyo objetivo es disminuir los riesgos vinculados con la prolongación de los plazos de construcción. En algunas circunstancias se examinan también determinados estímulos financieros. Entre los países occidentales en este campo predomina Estados Unidos, donde se aplican medidas tales como la prestación de garantías de créditos y exenciones fiscales con el objeto de aumentar la atracción de los inversionistas.

Otro factor que aumenta la atracción económica de los proyectos de construcción de nuevas centrales son aquellos proyectos en los que el gobierno puede influir directamente como por ejemplo, la política del cambio climático. Si un gobierno toma medidas orientadas a

[152] B. V. M. Konanenko, Métodos y modelos de la evaluación de los proyectos de inversión de la modernización de los objetos de la energética nuclear, Autoreferat de la tesis a Candidato a Doctor en Ciencias Económicas, RGB, 2005.

reducir las liberaciones de CO_2, significa que eventualmente no permitirá un aumento del precio de la energía eléctrica, entonces en ese escenario las centrales nucleares gozarán de una posición ventajosa (si la estructura de precio en el mercado de la energía eléctrica se basa en un promedio entre el costo máximo y el mínimo, como lo es en Chile).

Sin embargo, existen ciertos riesgos para el inversionista, en los cuales no puede dimensionar o planificar adecuadamente los plazos. Particularmente, son los riesgos del licenciamiento (ante todo el riesgo de prolongación de los plazos o renuncia de la licencia en virtud de algunos obstáculos que pudieran aparecer durante el proceso del licenciamiento). Además, estos riesgos están vinculados con los precios del manejo de los desechos y del desmantelamiento de la central.

Con el fin de minimizar estos riesgos y contar con las adecuadas garantías para el inversionista, en el eventual caso de que surjan estos inconvenientes, es deseable contar con la participación del Estado. En la práctica mundial se estila y se usan los siguientes mecanismos para lograr un aumento en la competitividad de los proyectos de construcción de las centrales nucleares:

- Garantías de parte del gobierno, vía compensaciones a la empresa productora en el evento de una caída imprevista de los precios de la energía eléctrica.
- Garantía para la compra de la energía eléctrica.
- Operar con una amortización acelerada (para disminuir el impuesto sobre las utilidades y aumentar el activo circulante).
- Incentivos fiscales para la producción y las inversiones.
- Que el proyecto esté incorporado al programa de apoyo a la reducción de las emisiones medioambientalmente peligrosas (como en proyectos de energía eólica).

Todas estas medidas permiten incrementar los valores de los parámetros financieros y comerciales del proyecto de construcción de una central nuclear, en el que se incluye la tasa interna de retorno (TIR).

Un ejemplo interesante con respecto a la existencia de un nivel de compras garantizado de la energía eléctrica es la experiencia de Finlandia. Cuando la compañía finlandesa TVO manifestó su intención de construir una quinta central nuclear en ese país, contó con más de 50 clientes interesados en participar de este proyecto (representantes de la industria pesada y de municipalidades), para lo que efectuaron un acuerdo a fin de definir el monto

de las compras garantizadas de esta quinta unidad, fijando el precio en forma anticipada. Tales acuerdos permitieron cubrir cerca del 90% de la producción futura de la central[153].

8.8. Usos no eléctricos de los reactores nucleares

En los últimos años se ha incrementado la utilización de la energía de las centrales nucleares con fines no eléctricos. Esto se debe especialmente a dos características fundamentales: el extremado alto contenido de energía del combustible nuclear y el amplio rango de temperaturas de trabajo de los reactores nucleares (200 – 1.000°C).

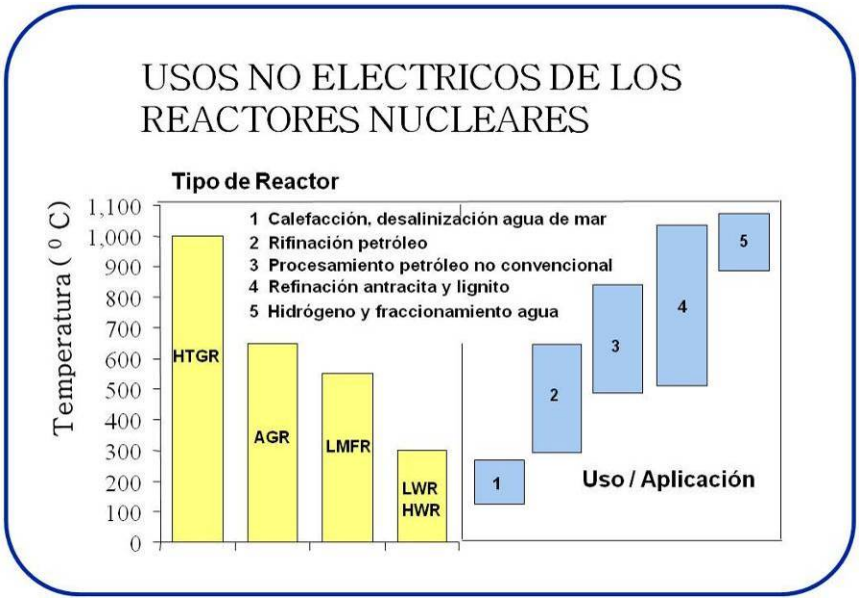


Figura 8.4 - *Otros usos no eléctricos de los reactores nucleares.*[154, 155]

Estos dos factores ofrecen varias opciones para resolver restricciones que se tienen de recursos que van desde el suministro de agua potable hasta la extracción de petróleo líquido o solido, así como suministrar un nuevo combustible para el transporte. Entre estas aplicaciones se encuentran la desalinización del agua de mar, la extracción de petróleo de

[153] J. Redding, C. Muench, R. Graber, The Business Case for Building a New Nuclear Power Plant in the U. S., Proceedings of ICAPP, Spain, 2003.
[154] Nuclear Energy Applications beyond the Power Sector, Climate change and nuclear power plant 2008, IAEA.
[155] Market Potential for Non-electric Applications of Nuclear Energy, Technical Reports Series No. 410, IAEA, Vienna, 2002.

fuentes no convencionales, la producción de hidrogeno para el transporte. En la Figura 8.4 se recogen estas aplicaciones y las características de los reactores nucleares que pueden ser usados con estos fines.

Otra aplicación de la energía nuclear es la utilización de fuentes radioisotópicas como fuentes de energía en el espacio desde 1965 y fuentes de fisión han sido utilizadas por la Federación de Rusia y en la actualidad se diseñan nuevas tecnologías por los Estados Unidos y Rusia. Después de un vacio de varios años, hay un interés creciente en el uso de la energía de la fisión para las misiones espaciales. Mientras que Rusia ha utiliza más de 30 reactores de fisión en misiones espaciales, los Estados Unidos solo han utilizado uno en 1965 (SNAP-System for Nuclear Auxiliary Power: Sistema Auxiliar de Energía Nuclear).[156]

Todas estas aplicaciones tendrán en su momento un impacto económico con su utilización. También son conocidas y más ampliamente utilizadas las aplicaciones no eléctricas de las otras fuentes tradicionales de generación eléctrica como lo es en el transporte (petróleo, gas y carbón), procesos industriales (carbón, gas, petróleo), calefacción (fósiles y solar) etc.

[156] Nuclear Reactors for the Space en http://www.world-nuclear.org/info/inf82.html.

Conclusiones

Las ventajas económicas de la energía nuclear no se limitan simplemente al costo y por ello la evaluación tampoco puede estar circunscrita a este aspecto. No obstante, siendo este un elemento de capital importancia para la toma de decisiones resulta especialmente atractivo saber que existe una serie argumentos a favor, los cuales se pueden resumir de acuerdo a lo siguiente:

- Bajo costo del combustible.
- Baja incidencia del precio del combustible nuclear en la estructura del costo de de generación.
- La permanente actualización tecnológica de las nuevas centrales nucleares, lo cual ha disminuido los impactos ambientales y los riesgos sobre la población que genera esta industria.
- Esta tecnología, al no emitir gases de efecto invernadero, permite que la industria nuclear participe económicamente en el mercado interno -dentro de sus propias cuotas- conforme a los mecanismos de Kyoto.

Por otra parte, las desventajas económicas de las centrales nucleares tienen relación con:

- Altas inversiones de capital inicial.
- Alto periodos de construcción.
- Una alta percepción de la tasa de descuento.

La construcción y operación de una central nuclear puede ser beneficiosa y el financiamiento de tales proyectos puede conseguirse a partir de las estructuras comerciales formales, siempre que se mantengan las condiciones de cumplimiento de la existencia de un balance correcto de los riesgos y de la rentabilidad. Los países que desean estimular inversiones en el área de la energía nuclear deben tomar medidas tendientes a conseguir una disminución de los riesgos que están en su área de control, por ejemplo aquellos vinculados con el licenciamiento y planificación, manejo de los desechos y el desmantelamiento de la central.

Es importante también y beneficioso que todas las cuestiones y conversaciones respecto del programa nuclear sean de consenso nacional, esto hará que disminuyan los riesgos políticos. Considerando, que por su naturaleza, los proyectos de energía-nuclear son de largo plazo, también es necesario que estos programas gocen del apoyo de la sociedad, lo que disminuye el riesgo de cambio de la política en caso de cambio de gobierno.

Por último cabe señalar que las centrales nucleares son un componente importante de la diversificación de la fuente de energía, es decir, son una garantía de la minimización de riesgos económicos para un país. Así lo es por ejemplo, el surgimiento de una deficiencia de la energía eléctrica respecto de la necesidad de re-equipamiento de las potencias energéticas ó por las interrupciones del suministro de los recursos energéticos, que son bastantes si la producción está basada en solo un tipo de fuente de energía.

Bibliografía

8.1.- New economics of nuclear power. WNA 2008.

8.2.- L. A. Sachenko, Las bases metodológicas de la administración del riesgo en la energía nuclear. El auto epítome de la tesis del candidato de las ciencias económicas, 2006 página 14

8.3.- V. V. Kovaliov, Bases de la gestión financiera. M.: Finanzas y estadística. 2000, p. 357

8.4.- U. V. Fedósova, Competitividad de las energías y tecnologías nucleares: el análisis económico. Estrategia nuclear, No 6, 2005. p. 21. Estrategia nuclear, No 6, 2005 p. 21.

8.5.- Saakov E. S., Riasny S. I., Fomín M. N., Optimización de la duración y de los gastos para la puesta en marcha de la central nuclear, Recopilación MNTK-2008, M, 2009, p 900-901.

8.6.- J. Redding, C. Muench, R. Graber. The Business Case for Building a New Nuclear Power Plant in the U.S. // Proceedings of ICAPP. Spain. 2003.

8.7.- Projected costs of generating electricity, IEA-OECD NEA, 2005 г. p. 27

8.8.- The New Economics of Nuclear Power. WNA Report 2008. p. 7

8.9.- V. M. Konanenko, Métodos y modelos de la evaluación de los proyectos de inversión de la modernización de los objetos de la energética nuclear, Resumen de la tesis del Candidato a Dr. en Ciencias Económicas. RGB, 2005, p. 27.

8.10.- Tarjanne Risto, Kivistö Aija, Comparison of electricity generation costs, Lappeenrante University of Technology, Faculty of Technology, Department of Energy and Environmental Technology Research Report EN A-56, Finland, 2008.

Capítulo 9

Recursos humanos[157]

9.1. Desarrollo de los recursos humanos, científicos y pedagógicos

Se ha dicho, y existen argumentos suficientes para sostenerlo, que la tecnología nuclear, junto con la aeroespacial, constituye el pináculo que el desarrollo científico de la humanidad ha alcanzado hasta hoy. Por eso y dado el nivel de complejidad que reviste y el enorme cúmulo de conocimientos e información relacionada con el tema, la ciencia nuclear demanda altos grados de especialización y capacitación.

Es por esta razón que contar con recursos humanos adecuadamente calificados es una de las condiciones esenciales para el éxito de cualquier proyecto o programa de generación núcleo-eléctrica. Sin personal calificado no puede planearse, construirse ni operarse adecuadamente una central nuclear y, por tanto, tampoco se puede garantizar la seguridad y la fiabilidad de sus instalaciones. La cantidad y calificación de los recursos humanos requeridos para un programa nuclear exitoso normalmente es subvalorado y la escasez resultante de este error suele ser un factor limitante en el desarrollo de los proyectos y la transferencia de tecnología hacia los países en vías de desarrollo.

Los accidentes de las centrales nucleares de Three Mile Island (Estados Unidos) y Chernobyl (Ucrania) confirmaron la importancia de contar con recursos humanos competentes para garantizar el funcionamiento seguro de estas instalaciones. Aunque hay diferentes factores que contribuyeron a las causas de estos accidentes, es innegable que los errores humanos jugaron un papel importante, tanto en su génesis como en su control. Las acciones adecuadas exigidas para prevenir un accidente sólo pueden garantizarse por la destreza y la habilidad de los operadores, lograda apropiadamente a través de una educación apropiada, el entrenamiento, la experiencia y una capacitación sistemática y permanente para el mantenimiento y fortalecimiento de tales competencias.

La energía nuclear es una tecnología exigente que requiere de conocimiento específico y excelencia en la actuación de las personas. La educación y el entrenamiento toman tiempo

[157] Este capítulo se desarrolla para cumplir con los requerimientos del mandante establecidos en Términos de Referencia, en particular, al requerimiento de analizar las necesidades de recursos humanos y su calificación. La información recogida en este capítulo es de elaboración propia a partir de la información brindada con este fin por el Departamento de Recursos Humanos del Consorcio Rosatom de la Federación de Rusia.

y demandan considerable esfuerzo, por lo que un programa para el desarrollo de los recursos humanos necesarios para un programa nuclear debe preverse con suficiente anticipación para que sea eficaz.

Por consiguiente, existe la necesidad fundamental de que, antes que se tome la decisión de dar comienzo a un programa nuclear, o por lo menos en forma paralela, el Estado proporcione el establecimiento e implementación práctica de un plan integral para la formación de los recursos humanos, el cual debe cubrir todos los aspectos implicados, incluyendo la determinación de las necesidades, tanto respecto a la calificación del personal como en cuanto a cantidad, así como programas de educación básica, certificación especializada y calificación a través de la experiencia.

En esta etapa previa es necesario también evaluar las capacidades organizativas, educacionales e industriales existentes en el país para satisfacer esas necesidades. El desarrollo de los recursos humanos con participación nacional en el programa de centrales nucleares debe estar considerado dentro del más amplio contexto de la estrategia de desarrollo industrial nacional y sus requerimientos generales de recursos humanos. Las habilidades y calificaciones especializadas que se requieren en la industria nuclear para la producción de productos y servicios pueden desarrollarse utilizando como base los mismos recursos humanos de la industria eléctrica convencional u otras industrias.

La infraestructura educativa existente en la mayoría de los países, por ejemplo los varios tipos de escuelas y universidades, normalmente es suficiente para asegurar una formación técnica básica. Sin embargo, esta debe proporcionar también una base adecuada para garantizar los entrenamientos especializados en aquellas áreas de la tecnología nuclear más complejas, según el programa previsto.

En la actualidad, un número importante de universidades de diferentes países que poseen esta tecnología, e incluso de países en vías de desarrollo, está ofreciendo continuamente cursos de preparación en disciplinas profesionales con especialización en aéreas tales como la física nuclear, ingeniería nuclear, protección radiológica y de la salud, garantía de calidad, etc. Los requerimientos de recursos humanos para esta industria incluyen tanto las áreas de la energia convencional como las técnicas nucleares especializadas; por ello es lógico esperar que en países en vías de desarrollo se pueda garantizar la base educacional para, al menos, estas tecnologías convencionales.

Por otro parte, la especialización y el entrenamiento en las disciplinas nucleares o en aquellas disciplinas convencionales requeridas en la industria nuclear, están disponibles en países desarrollados como Rusia, Estados Unidos, Francia, España, entre otros. Tales entrenamientos consisten tanto en instrucción especializada como directamente en puestos

de trabajo relacionados con labores específicas. Este tipo de especialización también puede formar parte de acuerdos de cooperación internacional o del contrato suscrito con el proveedor principal de la tecnología. Antes y durante la construcción, licenciamiento y operación de una central nuclear varios cientos de funcionarios técnicos deberán pasar a través de un programa de entrenamiento. La mayor parte de ellos serán capacitados en el mismo puesto de trabajo (doblaje) para adquirir las habilidades necesarias para un correcto desempeño.

A fin de entregar una estimación de los volúmenes de graduados en instituciones educacionales demandados por la industria nuclear, a continuación se detalla información obtenida por la experiencia rusa, la cual resulta indicativa en cada una de las especialidades:

- Para asegurar la capacidad de trabajo de las centrales actualmente en operación en Rusia (31 centrales) se necesitan 90 nuevos graduados en las diversas especialidades nucleares, cada año.

- La plantilla de una central nuclear con dos bloques energéticos necesita 150 expertos, preparados en estas mismas especialidades.

- Para garantizar la preparación del personal necesario se encuentran abiertas cátedras de estas especialidades en 8 universidades.

- De acuerdo con la experiencia alcanzada en la construcción y operación de centrales nucleares rusas en el extranjero, en los contratos correspondientes se prevé la preparación del personal acordada entre las partes incluyendo la preparación en el puesto de trabajo (doblaje).

Es necesario también tener en cuenta que Rusia es un país productor de tecnologías nucleares, por lo que la cantidad de personal que se capacita en el país es muy superior a lo señalado previamente, pues una parte considerable de los especialistas graduados se destinan al trabajo en las instituciones científicas y de proyectos relacionados con estas tecnologías.

9.1.1. Indicadores cuantitativos y especialidades

Como se mencionó anteriormente, la construcción y la operación de una central nuclear origina la necesidad de contar con recursos humanos de alta calificación (ver Tabla 9.1,

Figura 9.1). Durante la construcción de la central nuclear participan los proyectistas, en la fase inicial de proyecto; y los constructores, los montadores y los ajustadores de las instalaciones y equipos, en fases posteriores.

***Tabla 9.1** - Número aproximado de trabajadores en las diferentes categorías básicas de trabajo (considerando la construcción de un bloque energético de 1.000 MW).*

Categoría trabajadores	Período de construcción [año]					
	1	2	3	4	5	6
Total de trabajadores para la construcción, el montaje, y puesta en marcha, incluyendo:	1.015	2.135	6.280	4.410	3.725	675
Constructores	950	1.620	2.670	2.550	1.180	75
Montadores mecánicos	-	45	1.350	225	950	40
Montadores eléctricos	5	95	870	430	690	40
Otros (trabajadores, ingenieros, técnicos, ajustadores y obreros auxiliares)	60	375	1.390	1.205	905	520
Personal de investigación y diseño	1.323	1.323	1.323	1.323	-	-

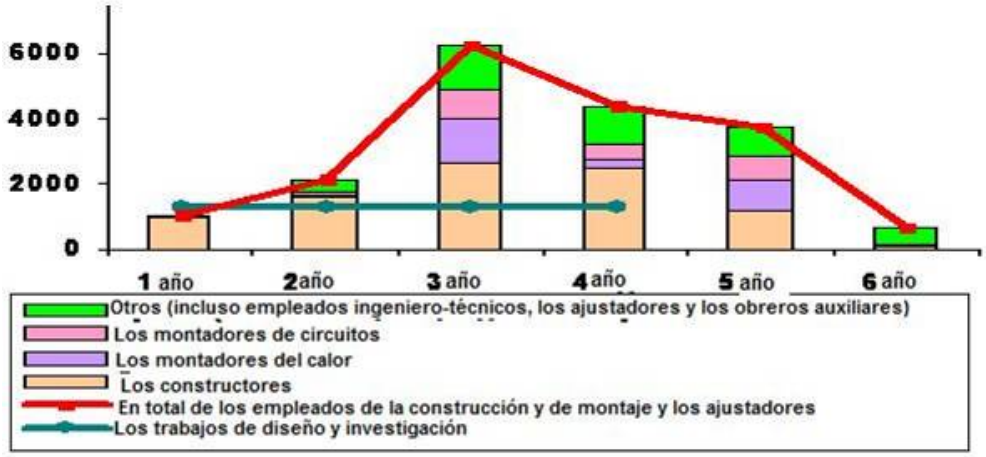


***Figura 9.1** – Necesidades de recursos humanos para la construcción de una central nuclear típica, con reactor VVWER-1150.*

Para las obras de una central nuclear de dos bloques son necesarios 8.000 trabajadores, destinados a la construcción y el montaje de la central. En la ejecución de los trabajos de construcción y montaje se establecen contratos con organizaciones locales y de otras regiones, para la preparación y el uso de los recursos humanos que posean la experiencia en los trabajos de construcción en las centrales nucleares.

En este estudio la valoración de las necesidades básica de trabajadores se analizará a partir de la construcción de una central de dos bloques energéticos, con una potencia de 1.000 MW cada uno. La valoración general de la cantidad de trabajadores para un bloque, de acuerdo con la experiencia rusa, se calcula según la siguiente expresión:

$$N300 = \frac{N1000 \times 1{,}5}{4}$$

Donde N300 es la cantidad de trabajadores para una unidad de energía por la potencia de 300 MW; y N1000 es la cantidad del personal sobre una unidad de energía por la potencia de 1.000 MW.

La precisión exacta del número de trabajadores para cada bloque energético depende del proyecto en concreto.

Durante la construcción de una central nuclear se ejecutan dos categorías de trabajos:

1. Los trabajos de carácter general de construcción, que ejecutan las empresas constructoras con cerca de 5.000 trabajadores,

2. Los trabajos de montaje, para cuya ejecución son necesarios cerca de 3.000 trabajadores. Durante estas labores se ejecutan obras especializadas de montaje, a cargo de especialistas de alta calificación, cuya cantidad está cerca de las 1.500 personas.

La cantidad de trabajadores vinculados a la operación para dos bloques energéticos será de 1.600, lo cual incluye 496 administrativos y de dirección, 525 empleados para la operación y 579 para los trabajos de mantenimiento. En las Tablas 9.2 y 9.3 se recoge la necesidad de trabajadores con educación superior y media profesional según las especialidades más demandadas.

***Tabla 9.2** - Necesidades de especialistas con formación profesional superior.*

№	Denominación de la especialidad	Cantidad de personas
1	Grupo de las especialidades energéticas, construcción de maquinaria energética y electrotécnica	21
2	Centrales termoeléctricas	32
3	Tecnologías del agua y del combustible en las centrales termoeléctricas y nucleares	16
4	Curso de preparación en electrotécnica	17
5	Reactores nucleares e instalaciones energéticas	45
6	Electrónica y automática de instalaciones físicas	19
7	Seguridad radiológica de la persona y el medioambiente	13
8	Centrales nucleares e instalaciones	77
9	Curso de preparación en electrotécnica, electromecánica y técnicos eléctricos	14
10	Equipos eléctricos y automáticos de instalaciones industriales y complejos tecnológicos	17
11	Física de metales	2
12	Metrología y aseguramiento metrológico	15
13	Construcción de equipos electromecánicos	8
14	Curso de preparación en telecomunicaciones	20
15	Curso de preparación en gestión de calidad	6
16	Computadoras, complejos, y redes	31
17	Sistemas informáticos y tecnológicos	15

№	Denominación de la especialidad	Cantidad de personas
18	Protección ingenieril del medioambiente	3
	TOTAL	371

Tabla 9.3 - *Necesidades de especialistas con formación media profesional.*

№	Denominación de la especialidad	Cantidad de personas
1	Centrales termoeléctricas	6
2	Equipos de suministro térmico y tecnología térmica	2
3	Tecnologías del agua, combustible y lubricantes en centrales térmicas	190
4	Seguridad radiológica	32
5	Centrales nucleares e instalaciones	31
6	Operación técnica y mantenimiento de instalaciones eléctricas y electromecánicas	89
7	Física de metales	3
8	Operación técnica de equipos de izaje y transporte, para la construcción y construcción de carreteras	3
9	Operación de medios de comunicación	14
10	Mantenimiento técnico de medios de cálculos y redes informáticas	4
11	Curso de preparación en tecnología química de materiales	16
12	Montaje y operación de instalaciones técnico-sanitarias interiores y ventilación	12
	TOTAL	412

9.2. Formación de trabajadores previo al inicio de operaciones

La preparación del personal destinado a operar la central nuclear en construcción debe ser asegurada por sus directivos en el momento de recibir la licencia respectiva, por parte de la Autoridad Reguladora Nacional (en el caso de la Federación de Rusia es la AFCN).

La selección, la preparación, los permisos de trabajos independientes y la calificación del personal son responsabilidad de la entidad explotadora de la central nuclear. El sistema de selección y preparación de estos recursos humanos deben estar orientados a alcanzar el control y mantenimiento del nivel de calificación necesario para garantizar el funcionamiento seguro de la central en todos los regímenes, así como la ejecución de las medidas destinadas a eliminar las eventuales consecuencias de posibles averías. El principal elemento del contenido con que se realice esta preparación debe ser la formación de una cultura de seguridad.

En este proceso de capacitación es necesario brindar experiencias prácticas de operación de la central nuclear, utilizando medios técnicos de enseñanza que incluyen simuladores de diferentes tipos. Una especial atención se presta a las acciones directamente relacionadas con posibles infracciones, errores de procedimiento y averías, así como la revisión exhaustiva de experiencias anteriores.

El personal de una central nuclear debe someterse periódicamente a controles médicos, ya que su estado de salud garantiza en gran medida la ejecución segura y confiable de las actividades que habrán de desempeñar en la central en que operan.

Todos los trabajadores seleccionados para desempeñarse en la central nuclear deben recibir instrucción específica para el puesto que ocuparán. Los programas de preparación para estas plazas de trabajo deberán estar preparados en un plazo no superior a 6 meses previos a la puesta en marcha de las obras de construcción, en directa coordinación con el programa de ajuste y puesta en marcha de las instalaciones físicas y energéticas, el cual considerará los siguientes contenidos:

- Estudio de los sistemas y equipamiento del bloque de la central nuclear.
- Estudio de las particularidades de la operación (los reglamentos, las disposiciones, las instrucciones de operación y de seguridad) de los sistemas y equipamiento.

- Estudio, en el lugar del ajuste y puesta en marcha de las instalaciones, del equipamiento, la maquinaria y los sistemas que prestarán servicios durante del la operación de la central nuclear.

- Participación en los trabajos de ajuste y puesta en marcha y pruebas de arranque de los sistemas y equipos.

- Realización de un examen de certificación.

La dirección de la central nuclear está obligada a concluir la preparación y los permisos de trabajo del personal antes de la puesta en marcha de la central nuclear y garantizar:

- La obtención de los permisos de trabajo otorgados por parte de la Autoridad Reguladora Nacional para iniciar los trabajos por parte del personal que participa en el programa de puesta en marcha física (en caso necesario).

- Formalización de las actas de comprobación de los conocimientos de los trabajadores que participan en la puesta en marcha.

- Emisión de la orden del director de la central nuclear sobre el permiso al personal para trabajar de manera independiente en la etapa de la puesta en marcha.

Del mismo modo, al comienzo de la puesta en marcha del bloque la dirección de la central nuclear debe garantizar también que:

- el personal de la central nuclear está completo, en correspondencia con la plantilla definida;

- todo el personal cuente con la preparación adecuada para el puesto de trabajo correspondiente así como con el permiso para desempeñarlo de manera independiente.

Como consecuencia de las altas exigencias de calificación del personal de operación de la central nuclear, su preparación para ocupar un puesto de trabajo dura en periodo de tiempo, que a continuación se detalla:

- Personal de la Sala de Control del Bloque (ingeniero jefe la instalación del reactor, ingeniero jefe de la instalación de la turbina): 7 meses de instrucción.

- Jefe de Turno del Taller (taller del reactor, taller de la turbina, taller de automática y metrología, taller energético, departamento de protección radiológica, taller

químico): con no menos de 2 años de experiencia de trabajo en los talleres, requiere 1 año de instrucción adicional.

- Jefe de Turno del Bloque de la central nuclear: 3 años de instrucción.

9.3. El Centro de Enseñanza y Entrenamiento

Para la preparación del personal de operación de un bloque energético se debe incluir en las instalaciones que se construirán un área destinada a funcionar como Centro de Enseñanza y Entrenamiento, el cual debe garantizar la:

- creación de una base material de información respecto al proyecto de la central nuclear, necesaria para capacitar a los operarios;
- preparación de instructores del Centro de Enseñanza y Entrenamiento;
- elaboración de programas de preparación para cada puesto de trabajo y para la capacitación del personal calificado, junto con el desarrollo de materiales metodológicos y de estudio necesarios;
- organización y ejecución del programa de preparación del personal y su capacitación permanente.

Por último, con seis meses de antelación a la puesta en marcha del reactor, los operadores de la central deben garantizar a la Autoridad Reguladora el funcionamiento exitoso de su personal ante un simulador a plena escala.

9.3.1. Certificación de los especialistas

Anualmente el personal de la central nuclear debe acreditar sus habilidades y conocimientos vigentes en relación a las tareas que realizan en la central nuclear.

El permanente aumento de la calificación del personal de la central se realiza con el objetivo de renovar los conocimientos teóricos profesionales y las practicas de trabajo y con una periodicidad de cinco años, en los centros de preparación profesional complementaria.

Conclusiones

Contar con especialistas y técnicos de alta calificación profesional es una las necesidades más relevantes para el desarrollo de cualquier programa de generación de electricidad con tecnología nuclear. Este aspecto también es uno de los más relevantes para garantizar la seguridad en todas las etapas del ciclo de vida de una central nuclear.

Ciertamente, a la hora de dar inicio a la industria nuclear en una nación se ha de definir y desarrollar un completo plan de educación, formación y capacitación de profesionales destinados a desempeñarse como operarios, en las diversas plazas de trabajo que demandará el proyecto, a fin de garantizar no solo la operación de la central de energía sino la ejecución correcta de todas aquellas actividades que están vinculadas con esta en cada etapa, por ejemplo las realizadas por constructores, proyectistas, investigadores, administrativos, etc. Como regla, el total de trabajadores que se destina a una central nuclear de 1.000 MW es del orden de 800 personas, es decir 0,8 hombres por MW instalado.

La capacitación en la rama nuclear es una tarea difícil y compleja, cuya ejecución exitosa exige de una planificación impecable, la preparación oportuna y la revisión multilateral de la experiencia acumulada por la rama. Para realizar con éxito estas tareas, los países que no poseen un desarrollo propio de la industria nuclear cuentan con diversos mecanismos de cooperación internacional, como se demuestra en la experiencia de Rusia con países como Finlandia, India, China, Bulgaria, entre otros.

El grado de especialización de los operadores que requiere una central nuclear comienza con una base similar al nivel medio y superior de quienes se gradúan en especialidades convencionales para la industria eléctrica tradicional, por lo que un proyecto núcleo eléctrico representa la creación de nuevas oportunidades de trabajo que amplían considerablemente las oportunidades de estas personas que ya cuentan con una formación adecuada para el sector energético.

A partir de esta base se hace necesario el permanente entrenamiento y la capacitación en los temas específicos de la generación núcleo eléctrica, con lo cual la transferencia de conocimiento que recibe el país representa un avance enorme y un impulso sin paralelo para la actividad académica, la investigación científica y el desarrollo tecnológico, colocando a esa nación a la vanguardia mundial.

Bibliografía

La información recogida en este capítulo es de elaboración propia a partir de la información brindada con este fin por el Departamento de Recursos Humanos del Consorcio Rosatom de la Federación de Rusia. Adicionalmente, se utilizaron las siguientes fuentes:

9.1.- Guidebook on enginnering and science education for nuclear power, IAEA, Vienna (1986)

9.2.- Frances Mautner-Markhof, Enginnering and science education for nuclear power, Co-operative approaches exist to attain necessary standars of excellence, IAEA Bulletin 2/1988

Capítulo 10

Aspectos sociales

10.1. Significado social

Hoy más que nunca el bienestar de la sociedad moderna en su conjunto está determinado por la disponibilidad y el acceso garantizado a la energía eléctrica, tanto para la población, como para los centros industriales y productivos de los países. El nivel de complejidad alcanzado por la humanidad, el desarrollo de la ciencia y el frenético ritmo de producción es tal que la existencia misma de la sociedad está íntimamente relacionada con nuestra capacidad de contar con la energía que demandamos, cada vez en mayores cantidades. Los acontecimientos de los últimos años demuestran que las crisis que se producen ante la falta de suministro entrañan serias consecuencias que repercuten profundamente en nuestra civilización. En esto también tienen una importancia capital los fenómenos climáticos causados por el consumo de combustibles fósiles, hasta el tan antiguo como repudiable hábito de desatar la guerra para obtener control sobre estos recursos.

Sin duda, ha llegado la hora de hacer modificaciones profundas a la forma en que hemos encarado por siglos este problema y asumir, seria y responsablemente, el hecho cierto de que la producción sostenida de energía, presionada por la creciente demanda, inevitablemente repercute sobre los limitados recursos naturales, situación que conlleva a un alto grado de inestabilidad y amenaza tanto el precario equilibrio económico y social de nuestro mundo, como el delicado balance del planeta.

Surgen entonces dos preguntas claves que cada país debe plantearse a la hora de considerar sus requerimientos de energéticos: ¿Cuál es el verdadero nivel de consumo de energía que se requiere? y ¿se está dispuesto a pagar el precio y asumir la responsabilidad que conlleva el grado de desarrollo al que se aspira como sociedad? Para dar respuesta a estas interrogantes necesariamente se debe considerar un equilibrio adecuado entre las necesidades económicas del ser humano y el cuidado y respeto que se debe tener al planeta que nos alberga.

Hasta comienzos de este siglo las consideraciones medioambientales no tenían prioridad dentro de los planes de desarrollo de las naciones, por lo menos para la mayoría. Estos factores no gravitaban ni en su política económica ni en su planificación energética. ¿El motivo? Los costos calculados eran demasiado altos y su beneficio directo aparecía difuso, sino prácticamente inexistente. La luz de alerta en este sentido la provocó la irrupción del

cambio climático en la agenda de temas prioritarios. Se hizo evidente, sobre la base de antecedentes científicos, que este fenómeno es producto del calentamiento global de la atmósfera, ocasionado a su vez por la emisión de gases de efecto invernadero. Poco a poco y cada vez con mayor fuerza se generó el consenso internacional sobre esta realidad y el desafío de enfrentarla y resolverla en una acción conjunta y contra el tiempo. Hoy, afortunadamente, se ha expandido la certeza de que aquello que es bueno para el medioambiente también lo es para los negocios. Cuidar del planeta es una inversión rentable y en este sentido los proyectos sustentables de desarrollo energético aparecen con el doble carácter de ser prioritarios y ventajosos, en el escenario presente y, sobre todo, en el futuro inmediato.

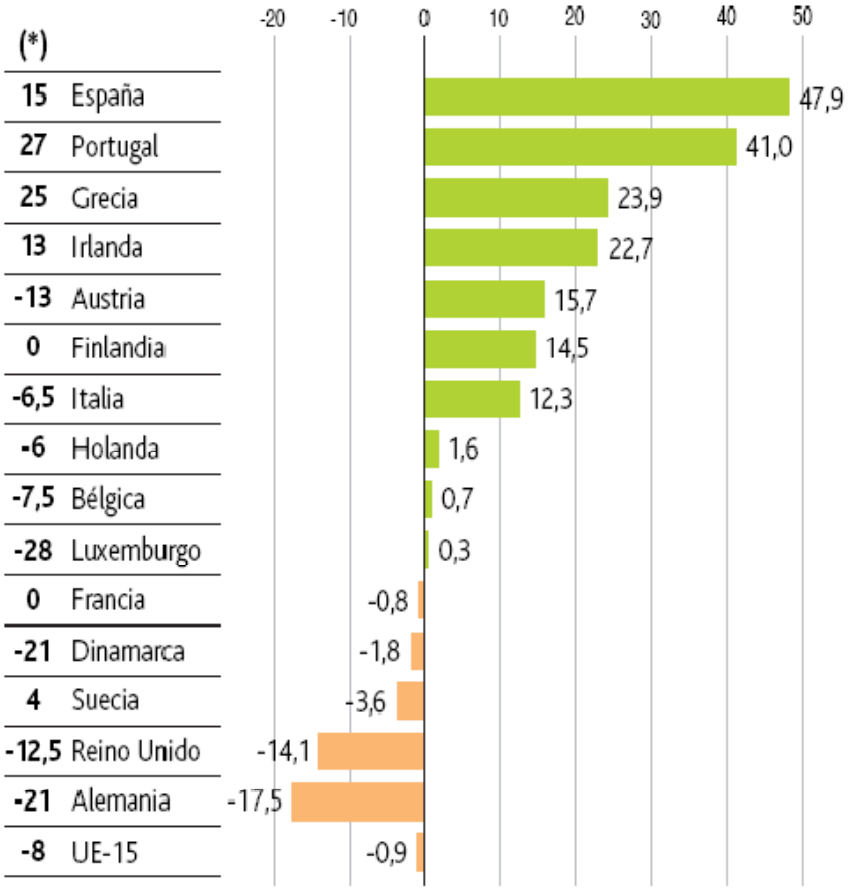
La Federación de Rusia ha sido uno de los países pioneros en ese sentido[158]. En la sesión de la ONU del 6 de septiembre de 2000, el Presidente Vladimir Putin, confirmó la posición de su país respecto a este tema al señalar que "la energía es un tema eminentemente social que afecta no solo a un país sino a la humanidad entera". Por lo tanto, es preciso hacer un esfuerzo común entre los países para formular un sistema internacional para el desarrollo energético sustentable. En otras palabras, crear una doctrina que contenga una nueva ideología energética basada en el principio de no dañar al planeta Tierra y tampoco afectar el desarrollo de la sociedad". Para ello Putin propuso dar prioridad a los trabajos y las opiniones de los científicos que se desempeñan en esta área y definir aquellas tecnologías aptas para enfrentar el desafío. Este es un aspecto importante, ya que se sabe que existen tecnologías baratas y simples, especialmente en el rubro del transporte, que habrían permitido sustituir ya una parte de los combustibles fósiles, pero éstas aún no son de uso comercial debido al lobby de la industria petrolera. No es misterio ni secreto para nadie el poder que este sector ha ejercido sobre ciertos ámbitos relevantes de toma de decisiones a nivel mundial en la mayoría de los países desarrollados.

Hay que ser objetivos y reconocer que hoy la realidad dista mucho de lo ideal. Es necesario asumir que muchas naciones no han sido capaces de cumplir con las tasas definidas para reducir el aporte que deben realizar para disminuir la contaminación del medioambiente, según los acuerdos internacionales que se han adoptado en la materia, particularmente el Protocolo de Kyoto. Firmado el 10 de diciembre de 1997 como acuerdo final de Convención sobre Cambio Climático realizada en la ciudad japonesa de Kyoto, el compromiso de los países industrializados para reducir las emisiones de gases contaminantes en un promedio de 5% entre los años 2008 y 2012, en relación con los niveles registrados en 1990. Cada país signatario fijó sus propias metas: las naciones de la Unión Europea se impuso una

[158] E. P. Velikhov, La energética nuclear y termonuclear en el siglo XXI, Energía: Economía, la Técnica, Ecología, № 10, 2001.

disminución del 8%, mientras que Japón se planteó un 5%. En cambio, a algunos países con bajas emisiones se les autorizó a incrementarlas y también se fijó un complejo sistema de compensaciones que dio origen al mercado de los bonos de carbono.

Recientemente la Organización de Naciones Unidas informó que las naciones industrializadas no están ahora cumpliendo con sus metas y predice que para 2010 las emisiones estarán en un 10% por encima de los niveles de 1990.



(*) - Compromiso de emisiones período 2008-212 según Protocolo de Kyoto.

***Figura 10.1** - Cumplimiento del Protocolo de Kyoto en la Unión Europea.*[159]

[159] Energía y Cambio Climático, Documento elaborado por Foro Nuclear (Datos proporcionado por Agencia Europea del Medioambiente, 2006.

Es por eso, que la producción de energía tiene aun interrogantes sin resolver. Una de estas es lograr determinar cuál es el margen de riesgo aceptable socialmente para una u otra fuente de energía y alcanzar el equilibrio necesario entre beneficio inmediato e impacto ambiental.

El significado social y el grado de tolerancia al riesgo de cada una de las fuentes de energía[160] se encuentran vinculados de una manera peligrosa, ya que a mayor consumo, más alto es el bienestar de la población, pero esto a su vez trae consecuencias negativas sobre los recursos. Por lo tanto, existe una dualidad implícita en su mecanismo de puesta en marcha. Necesariamente el equilibrio pasa por una adecuada selección de las fuentes de energía disponibles, dando preferencia a aquellas que son relativamente baratas y que no conlleven al agotamiento de los recursos naturales.

Por todos los argumentos expuestos hasta acá, en la estructura de desarrollo energético de un país, la tecnología nuclear puede ocupar un lugar especial si así lo decide el gobierno de ese país. Una central nuclear no es un simple generador de energía eléctrica, representa algo más, ya que, al igual que la tecnología aéreo-espacial, es la cima del progreso científico-técnico de la humanidad y el resumen de importantes logros de la ciencia y la investigación. El propósito final de tantos esfuerzos, durante años, es poner la ciencia al servicio del hombre para resolver los problemas sociales, económicos y ecológicos que por medios tradicionales no se pueden solucionar.

Rechazar, a priori, la opción nuclear representa una falta de mirada global para abordar la problemática energética del mundo moderno, ya que no se trata de un asunto circunscrito a una determinada región, ni siquiera a un sector determinado de la economía en este caso, el energético. Del mismo modo, se trata de un prejuicio limitante para quienes deben ejercer la misión de gobernar, ya que priva a la población de una alternativa que podría ser beneficiosa para el país, sin siquiera darle la oportunidad de considerarlo. Además, quienes así proceden terminan siendo parte del problema sin contribuir para nada a la solución. Podrán estar movidos por las más loables intenciones, como es el caso de los activistas medioambientales, pero en el desconocimiento de los avances tecnológicos desarrollados por la industria nuclear terminan, sin duda involuntariamente, siendo útiles a los intereses de la industria del combustible fósil y está probado que por esa vía el efecto invernadero solo puede agravarse.

Distinto es el caso de las fuentes de energía renovables, sin embargo hay que asumir que su

[160] Subbotin S. A., Riesgo: Condición indispensable del desarrollo, Energía: Economía, Técnica, Ecología, №. 8, 2001.

desarrollo tecnológico aún está lejos de garantizar el suministro y la potencia de energía adecuados para las tasas de demanda actual.

Una prueba de genuino interés y disposición a enfrentar de manera seria estos desafíos es sin duda abrirse a estudiar la opción nuclear, ya que los argumentos de la comunidad científica internacional están hoy disponibles para entrar al debate y contribuir desde el punto de vista científico a encontrar una solución a las necesidades apremiantes del planeta que merecen toda la consideración y atención posible, con responsabilidad y visión de Estado para hacer lo correcto y no simplemente lo que garantice popularidad.

10.2. Aceptabilidad social de la energía nuclear[161, 162]

La tecnología nuclear ha estado envuelta en una serie de mitos y desinformaciones. En esto han influido mucho los accidente de Three Mile Island (Estados Unidos) y Chernobyl (Ucrania), pero también el hecho de que las radiaciones son un peligro invisible para el ser humano y las personas no saben ni de qué se trata realmente ni cómo enfrentar esta amenaza, por lo que aumenta el temor hasta grados irracionales o supersticiosos.

La eventualidad de un problema en una central nuclear implica un aumento de la tensión social. Los aspectos básicos a los cuales teme la población son:

- Presencia de radiación que provoca daños biológicos al organismo

- Eventualidad de explosión del reactor con la posterior destrucción de la población más cercana y contaminación del territorio por años

Después los accidentes señalados, se formó la idea social dominante de que “un reactor nuclear es peligroso”. Si bien ha comenzado a ser superada en parte últimamente, desestimar por completo esta visión social no parece posible, pero si se puede disminuirla informando y educando debidamente a la opinión pública.

Hoy, una parte de la población está predispuesta emocionalmente en contra de lo nuclear, muy atenta a cualquier hecho o noticia que permita continuar argumentando en su contra. También hay grupos ecologistas con oposición muy fuerte, que se han transformado en

[161] Ponukalin A. A., Estrategia de la dirección social del desarrollo de la energética nuclear, Tesis para optar por el grado de Candidato a Doctor en Ciencias Sociales, RGB, 2005.
[162] Plankina N. A., La aceptabilidad social de la energética atómica: el análisis sociológico y la estrategia de la formación, Resumen de la Tesis Predoctoral, Las Ciencias, Sarátov, 2003.

verdaderos activistas en esa área. Ellos no quiere escuchar argumentos, no profundizan el problema en el contexto global de funcionamiento de la actual sociedad y tampoco proponen soluciones realistas al tema, pero sin embargo, gozan de cierta simpatía por parte de la opinión pública que mayoritariamente no diferencian entre "ecólogos" (cuando se oponen a algo lo hacen con argumentos y proponen alternativas) y "ecologistas" (simplemente se oponen, son activistas).

El hecho es que existe esa predisposición en nuestra sociedad, hecho que queda de manifiesto cuando, por ejemplo, ante la ocurrencia de algún incidente nuclear, por pequeño que este sea, los medios de comunicación no profundizan en sus verdaderas causas y se limitan a reproducir informaciones alarmistas. Por otro lado, cuando hay un informe nuclear positivo, este se publica en un contexto que al menos insinúa dudas, como por ejemplo el uso de colores negro y amarillo, acompañados de palabras o símbolos de elementos radioactivos que denotan "peligro"[163]. Todo esto puede llegar a provocar incluso pánico en la población.

En el año 2006 la población de San Petersburgo, de Rusia, reaccionó con mucha alarma ante la publicación en los medios masivos acerca de un supuesto accidente en la Central Nuclear Leningrado, aunque lo que había ocurrido en realidad no era más que un incidente operacional que no significó fuga de radiación, pero dio motivo para que todos los días, durante varias semana, se publicaran noticias que en su mayoría eran insignificantes en relación a lo ocurrido, y más aún, si se leían detenidamente no era motivo de alarma alguna, pero en el contexto y enfoque editorial en que se presentaban las personas reaccionaban emocionalmente mal.

Por estos motivos es que una adecuada difusión de la tecnología nuclear en sus aspectos básicos - ¿cómo funciona? y ¿cuáles son sus mecanismos de seguridad?-, es fundamental y el Estado debe jugar un papel primordial en esto. No solo se debe considerar un material didáctico adecuado, también hay que tener presente los conceptos relacionados con la "psicología de masas", la idiosincrasia y la estructura social del país.

Durante este proceso de difusión (que es permanente) se debe además destacar los siguientes aspectos inherentes a la tecnología nuclear:

- El nivel de vida de los trabajadores de una central nuclear.
- El nivel académico de sus trabajadores.

[163] Gamo E., Energía sin peligro, Energía: Economía, Técnica, Ecología, №. 8, 2001.

- La cantidad de empleos asociados de manera directa e indirecta que genera.
- El impulso que significa para la ciencia cuando se le da un uso adecuado a la infraestructura de una central nuclear, considerándola en algunos casos como un laboratorio para el desarrollo de investigaciones.
- El desarrollo de la industria relacionada con la construcción de la central nuclear.
- La seguridad energética que por este medio se alcanza para el país, pues le permite a los empresarios, en el contexto actual de economía de mercado, invertir con más seguridad en sus respectivos proyectos.

Por todo lo anterior es que la mayoría de los países coinciden en que antes de optar por la generación núcleo-eléctrica hay que tener en cuenta que "el riesgo de radiación debe ser socialmente aceptable". Esta consideración se encuentra formulada en la mayoría de los documentos oficiales de aquellos países con experiencia en la generación de electricidad por medios nucleares. La opinión de estos países es que la sociedad debe conocer los fundamentos básicos de esta tecnología y tener una opinión lo más técnica posible respecto a ella, pues solo de esa forma, podrá comprender los argumentos que dará el gobierno para una eventual construcción de centrales nucleares. Es por eso que en estos países se le da mucha importancia a la "información que se le brinda al país" con relación a este tema. El método más común utilizado es ubicar centros de difusión en las principales ciudades, en los cuales se muestra, mediante mecanismos didácticos, el funcionamiento de una Central Nuclear. En estos centros la entrada es gratuita y la información que se proporciona a la población se realiza mediante el uso de maquetas y medios audiovisuales adecuados.

Por ejemplo, en Rusia se tomó la decisión de incrementar el aporte nuclear a su matriz eléctrica de un actual 17% a un 25%. Dentro del contexto de este proyecto se consideró también el aspecto social de difusión de este plan nacional, al cual se le denominó: "La Seguridad Nuclear y Radiológica de la Federación de Rusia para los años 2000-2006". Su objetivo principal era disminuir, en este periodo de tiempo, el grado de alarma en la sociedad por el riesgo de impacto radiológico en las personas y en el medioambiente, por los nuevos proyectos nucleares que se pusieron en marcha.

La experiencia internacional señala que los países que optaron por la energía nuclear lo hicieron básicamente por los siguientes motivos:

- Necesidades de gran cantidad de energía y que esta fuera independiente de las condiciones naturales (recursos hídricos) y factores internacionales externos (combustibles fósiles)

- Aspiración de insertarse en el grupo de países que disponen de tecnologías de avanzada para acceder al conocimiento que permite utilizar el átomo para generar, no solamente electricidad, sino también el uso de reactores nucleares de investigación que permiten realizar investigaciones propias, por un lado, y por otro cubrir los requerimientos indispensables en el campo de la medicina, la construcción y la prospección geológica.

La mayoría de los países que utilizan hoy la tecnología nuclear tomaron la decisión en los años 70 y 80 y sin mayores consultas a la población. Hoy no es aconsejable hacerlo de este modo. Es preciso que la gente esté debidamente informada antes de iniciar un proyecto nuclear en un país. También hay que tener en cuenta que la tendencia actual es traspasar al sector privado la función de generación de electricidad. Esta situación tiene ventajas en todo lo relativo a los aspectos económicos, pero hace más difícil realizar la labor de difusión social, por cuanto el interés del sector privado es local y eminentemente económico, no así el del Estado.

En países como Chile, donde el sector privado tiene un rol activo en la generación eléctrica, si se llegase optar por incorporar la tecnología nuclear, sería necesario elaborar una estrategia común de trabajo público-privado, en donde el Estado debe asumir su rol social y de control y el sector privado, su papel de inversionista y operador, lo cual ha demostrado ser una buena combinación de intereses.

10.3. Impacto laboral

Analizando los aspectos positivos desde el punto de vista del impacto social, con la construcción de las centrales, las zonas de influencia se reaniman demográficamente, mejorando notablemente las comunicaciones por carretera. Los trabajos de construcción, montaje y puesta en marcha suponen la creación de alrededor de 5.000 – 6.000 puestos de trabajo directos y muchos indirectos en el sector servicios (transportes, construcción, etc.) durante varios años.

De acuerdo con la experiencia internacional las municipalidades de las zonas cercanas a la central ven aumentados sus ingresos y la posibilidad de utilizar materiales y equipos de construcción propiedad de la central para renovar infraestructuras, pavimentar calles, construir polideportivos, restaurar monumentos locales, etc.

La explotación de una central nuclear dispone de un personal fijo, bien sea de plantilla o de empresas contratistas cuyo número total estará en dependencia de la potencia instalada y

el número de bloques. A esto se le debe adicionar el personal que se contrata para la parada de recarga que las centrales efectúan cada 12, 18 o 24 meses y que tiene una duración media aproximada de 25 días.

Un impacto social amplio también lo tiene los recursos humanos necesarios para el desarrollo de un programa de este tipo ya que la calificación de los mismos en instituciones de la enseñanza permitirá por un lado elevar el nivel científico técnico del país tanto del personal como el de las propias instituciones. Asimismo contribuirá al establecimiento de un régimen de trabajo en cualquiera de sus fases con altas exigencias para cada puesto de trabajo alcanzándose alta disciplina laboral que puede ser transferida al resto de las industrias y servicios del país.

10.4. Riesgo subjetivo y objetivo

Desde el punto de vista formal la central nuclear es una empresa de producción, que en el contexto de un país cumple con una multitud de funciones, prácticamente en todos los aspectos: socio-económico, psicológico, cultural, de costumbre, político, etc. Pero por el modo de producción de su producto final (electricidad) – mediante la fisión del átomo - la central nuclear presenta un eventual peligro para el medioambiente y los habitantes. Por eso en un sentido objetivo y subjetivo es una importante fuente de amenaza.

La amenaza objetiva está relacionada con eventuales averías de una central nuclear, producto de la cual pueden derivar efectos negativos vinculados a una fuga radioactiva, su influencia sobre el medioambiente y los efectos nocivos sobre la población colindante a las instalaciones averiadas. La identificación de este eventual peligro, la ubicación de sus instalaciones en las zonas industriales y habitadas de las ciudades obliga a incluir a las centrales nucleares en la categoría de instalaciones industriales que están sometidas a controles rigurosos por parte de órganos e instituciones especializados[164].

La amenaza subjetiva, a su vez, es la tensión a la que está sometida la persona por supuestas amenazas que no siempre se corresponden con el verdadero grado de riesgo que existe realmente, condicionado por distintas circunstancias. En la actualidad, uno de los factores esenciales de tal condición lo constituyen las ya citadas averías en Three Mile Island[165] y Chernobyl[166], cuyas causas fueron detalladamente explicadas a la población de

[164] Ponukin A. A., Energética Nuclear: Peligro Objetivo y Subjetivo, Problemas Científicos de la Seguridad Nacional de Rusia, Saratov 2003.

[165] http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html.

las regiones donde se encuentran estas centrales y que aparecen publicadas en las citas realizadas. A pesar de esto, en la opinión pública subsisten distintas versiones al respecto, incluyendo explicaciones místicas de la tragedia, así como imperfecciones en la tecnología misma, errores de diseño, sabotaje o errores de operación. También se habló de experimentos científicos realizados incluso por supuestos enemigos que provocaron un sismo inducido de baja intensidad que afectó los procesos físicos en el reactor y como resultado ocurrieron fenómenos desconocidos como la formación de un campo magnético cuya influencia provocó el accidente, etc. De todo se habló.

Una particularidad de la mentalidad humana es que en situación de amenaza, su cerebro calcula involuntariamente la probabilidad de un acontecimiento desfavorable y en caso de que esa sea alta, surge el miedo constante que provoca un desajuste emocional y consecuencias somáticas adversas al organismo. Si además consideramos que el riesgo es desconocido, por cuanto el individuo está mal informado, los rumores hacen presa fácil de esta persona y el desajuste emocional es aún mayor en tales circunstancias. En estas situaciones las personas que están expuestas al riesgo, sea este real o inexistente, adquieren un estado mental negativo, el cual puede llegar a ser muy contagioso entre la población y con relativa facilidad puede "cundir el pánico". Dependiendo de cómo se maneje esta situación esto se verá reflejado en el estado mental de la población, con lo cual en definitiva, la sociedad oscila entre un índice de bienestar a un índice de infortunio social.

Los riesgos, tanto el objetivo como el subjetivo, intervienen en el desarrollo de la persona y de la sociedad. Teóricamente, el riesgo es considerado como la probabilidad de que puede pasar un acontecimiento indeseable a causa de la influencia casual o intencional sobre aquellos acontecimientos puestos en marcha. Habitualmente el riesgo objetivo supone la apreciación de los posibles resultados negativos para un evento y la probabilidad de aparición de tales consecuencias, las cuales incluyen pérdidas económicas concretas y naturales. La característica del riesgo se calculará como el producto de las consecuencias por su probabilidad[167]. Los autores del trabajo: "Riesgo: condición indispensable del desarrollo" (ver bibliografía) estipulan que entre la seguridad S, el peligro NS y el riesgo RZ hay una correlación: NS = RZ/S. Ya que la seguridad y el riesgo son valores inversamente proporcionales, la gestión de la seguridad se hace mediante la gestión del riesgo y viceversa.

---

[166] http://chernobyl.undo.org/english/docs/chernobyl.pdf, "Chernobyl´s legacy: health, environmental and socio-economic impacts", 2005.

[167] Subbotin S. A., Riesgo: Condición indispensable del desarrollo, Energía: Economía, Técnica, Ecología, № 8, 2001.

Por consiguiente, un modelo formal de riesgo es un modelo de probabilidades de eventos que permite calcularlos bajo determinadas condiciones. Al realizar el cálculo de riesgos se determina el daño posible, así como su gravedad y los elementos de riesgos objetivos y subjetivos[168]. Debe considerarse que la percepción individual de los riesgos por lo general es mayor al de su valor objetivo.

Existe una tendencia a la divergencia en la percepción del riesgo entre la opinión pública y los expertos. El grado de tal divergencia crece con el tiempo, las apreciaciones del riesgo hechas en las declaraciones de los gobiernos no siempre se consideran fiables. Una confianza algo mayor se le da a las declaraciones de los representantes de la industria y los medios informativos. Las opiniones de las organizaciones defensoras del medioambiente, los amigos y los familiares gozan de una confianza considerablemente mayor. A fin de cuentas, la decisión sobre la aceptabilidad de algo nuevo se toma no sólo en base a la metodología de la apreciación del riesgo, sino también teniendo en consideración cómo este nuevo riesgo es reconocido por la persona, ya que todo lo que ésta reconoce como realidad para ella, tendrá también determinadas consecuencias reales para la sociedad.

La metodología de la apreciación del riesgo en la energía nuclear está bastante desarrollada y en muchos casos este puede ser medido y evaluado. La evaluación del riesgo del impacto de la tecnología nuclear sobre el medioambiente es más simple que para otras tecnologías, incluida la solar, en una escala comparable. Sin embargo, estas apreciaciones fundadas hasta en las mediciones cuantitativas, son poco convincentes para la población. Por ello, es importante aplicar métodos de comparación con otras tecnologías, considerando la influencia sobre el medioambiente y las personas no sólo desde el punto de vista de la calidad de su salud y el bienestar, sino también considerando las consecuencias mentales, sociales y genéticas. El construir una central nuclear modificará en esa región la atmósfera social psicológica en la población y las relaciones internas en ella. Las ventajas de la energía nuclear chocan muchas veces por las dimensiones de las consecuencias de un eventual accidente nuclear.

La energía nuclear le ha planteado a la persona exigencias y grandes desafíos, el problema es que a las personas no les gusta asumir responsabilidades complejas superiores a sus acciones del día a día. Según la expresión de E. Gamo[169], *"…la humanidad ocupa todo su ingenio para obtener energía, y después sin talento alguno la gasta, la despilfarra y ensucia irremediablemente el medioambiente…"*.

---

[168] Afanasiev A. A. Costo del riesgo del daño a la salud, Energía: Economía, Técnica, Ecología, № 10, 2000.

[169] Gamo E., Energía sin peligro, Energía: Economía, Técnica, Ecología, No. 8, 2001.

Lo que es importante no es la energía misma, sino la actitud que para con ella tienen las personas. Cualquier recurso no es simplemente combustible, comida o información, como lo es una cosa o una propiedad en sí. Es también el conjunto de conocimientos de como conviene usar lo que se dispone y de una mejor manera, más eficaz y más segura. La aceptabilidad de la energía nuclear se vincula no tanto con la disminución de los riesgos de esta tecnología, sino con la toma de conciencia por parte de la población, de porque se está recurriendo a ella y cuáles son los beneficios futuros del país al aplicar esta tecnología.

Finalmente, aparece el problema del costo del riesgo por eventuales daños a la salud o la vida de las personas, en condiciones en que el riesgo haya sido impuesto al hombre y en situación en que él mismo lo aceptara bajo ciertas condiciones, estando en ese caso dispuesto a sacrificar la salud o la vida. El costo del riesgo depende de la probabilidad de la ejecución del peligro y el valor del daño esperado, considerando la edad, los gastos médicos, la pérdida de los ingresos por enfermedad, el empeoramiento de la calidad y la esperanza de vida. El costo del riesgo debe tomar en cuenta el daño moral, así como el grado de sufrimiento y sus consecuencias mentales. Aquí cobra importancia el hecho de diferenciar en cómo surgen los sufrimientos - ante la aparición del impacto o en ante la ansiedad que genera un estado de espera de las eventuales consecuencias[170].

También es posible considerar el pago por evitar el riesgo. Por ejemplo, si se evita el riesgo vinculado a la actividad de una nueva central nuclear, ¿cuánto costará al que aspira evitar un riesgo semejante?. Se trata en este caso de lo que no tendrán, pero podrían tener. El pago por evitar el riesgo se limita a los ingresos personales. Por eso, la magnitud promedio del costo del riesgo es proporcional al PIB específico.

Todavía no está determinado el valor concreto del costo del riesgo del daño a la salud, que igualmente describiría bien todos los tipos de gastos. Sin embargo, se ha elaborado cierto procedimiento para la apreciación del costo del riesgo de las enfermedades no fatales del cáncer como resultado de una avería radiológica en la central nuclear. Es posible una definición semejante de los costos del riesgo de otras enfermedades catastróficas. Surge el problema de la aceptabilidad del riesgo del daño determinado y su costo concreto.

En todo caso, el valor económico del riesgo representa el consentimiento público de pagar por evitar el riesgo (la estimación en dinero del costo de tal riesgo para los habitantes de la Federación de Rusia es de 50 mil dólares americanos), en un caso, o el consentimiento de la compensación por sufrirlo voluntariamente, en otro caso. El costo social del riesgo ecológico

[170] Afanasiev A. A., Costo del riesgo del daño a la salud, Energía: Economía, Técnica, Ecología, № 10, 2000.

para un grupo de la población puede ser calculado como el valor medio del monto, que la persona acepta pagar por evitar el riesgo, o la compensación por el riesgo de cada uno de quienes sufrieron el impacto en este grupo de la población, multiplicado por el número de los pobladores. El valor medio se determina en base a la multitud de valores individuales, que son necesarios para que el individuo decida pagar por evitar el riesgo, o aceptar el riesgo.

Tiene una importancia clave la definición de la esencia del riesgo y su medida según los parámetros esenciales objetivos y subjetivos. Esto está vinculado con que el riesgo siempre es de grupo, y el valor del costo del riesgo resulta de la consideración de que el riesgo es de dominio común sin relación con las personas a quienes pueden causarles la enfermedad o la muerte.

En la higiene radiacional se usa el enfoque de la valoración objetiva de la "aceptabilidad" del riesgo radiacional. Así, por ejemplo, en Rusia la protección radiológica del personal de las centrales nucleares, la población y el medioambiente se regula por el documento normativo “Normas de protección radiológica-99” (NPR-99), que estipulan los significados de los niveles admisibles de la influencia radiacional en forma de valores de las dosis de irradiación. Existe un criterio único de la valoración de lo que es una dosis de irradiación. La dependencia dosis-efecto para las dosis colectivas de irradiación permite fundamentar cuantitativamente y objetivamente la norma, la admisibilidad higiénica de irradiación o la aceptabilidad para el factor radiacional del impacto.

En las Normas NPR-99, la definición del “riesgo radiacional” es una definición completa que sustituye a la definición de “peligro radiacional”. A la estimación objetiva en el uso terminológico profesional, el riesgo radiacional tiene una forma numérica y se limita por la valoración objetiva cuantitativa según el criterio “la salud de la persona”. A diferencia de la apreciación objetiva sanitaria de la radiación, el juicio subjetivo del peligro de la radiación es una estimación compleja, en la que se toma en cuenta una situación concreta. Además, el juicio subjetivo toma en consideración la correlación utilidad/daño independientemente de la formulación de la pregunta “del peligro de la radiación” o “del riesgo del impacto radiacional”.

Los resultados presentados son una ilustración de investigaciones recientes de varios autores.[171, 172] La población, valoraba de forma diferente el peligro del impacto radiacional por los ensayos del arma nuclear que por los procedimientos médicos durante la radiografía.

[171] Doroguntsov S. I., Ralchuk A. N., Manejo de la seguridad ecológica y antropogénica en el contexto del paradigma del desarrollo sostenible, Pensamiento Científico, Kiev, 2002.
[172] Subbotin A., Riesgo: Condición indispensable del desarrollo, Energía: Economía, Técnica, Ecología, No. 8, 2001.

Las apreciaciones del riesgo radiacional varían según las personas de diferentes profesiones. En la descripción científica existente es necesario un análisis, es decir, separar cada factor del resto, describirlo y someter a examen solo aquellos factores a los cuales se le pueden atribuir significados numéricos, para los cuales pueden estar determinadas y descritas las leyes de la dependencia mutua.

Al estimar el peligro radiacional, en su conjunto, una persona no profesional (la mayoría) no distingue el factor radiacional como independiente. Tal mirada completa aquella representación abstracta sobre el riesgo radiacional, que existe en la ciencia.

La esencia de la aceptabilidad social del riesgo radiacional consiste, como la suma de opiniones subjetivas de la población, y que la opinión pública esté conforme con aquellas consecuencias que existen por el uso de reactores nucleares.

En el aspecto metodológico se pueden hacer dos conclusiones básicas: primero, la aceptabilidad por la sociedad de que el riesgo radiacional puede ser estimado cuantitativamente, según la frecuencia de respuestas en encuestas realizadas sobre un grupo representativo de la población (la metodología de las encuestas se basa en la teoría científica argumentada sobre la práctica de aceptación de las decisiones administrativas tomadas por ley). Segundo, la característica de la aceptabilidad social del riesgo radiacional puede ser expresada solo en base a la respuesta a varias preguntas. Una respuesta a una única pregunta en el curso de la encuesta realizada una sola vez, no puede expresar la opinión pública y tampoco puede servir de base para determinar objetivamente la aceptabilidad social del riesgo radiacional.

Es difícil esperar que alguna vez el peligro de irradiación por diagnóstico con rayos X y el peligro de la irradiación por avería en una central nuclear sean valorados por la población como iguales. Las ventajas del diagnóstico por rayos X son evidentes porque ofrece información sobre la salud, y las ventajas sociales de la avería en una central nuclear no siempre están claramente difundidas por la autoridad. Hasta la existencia de seguros, en caso de la avería en la central nuclear, en el aspecto social para toda la sociedad estos pagos son "el dinero que no proviene del trabajo propio", es decir no es el resultado de la simple redistribución financiera del dinero no ganado, sino de los recursos disponibles y de antemano acumulados por la autoridad. El sentido común de la población lo toma en consideración en un nivel subjetivo.

Las evaluaciones objetivas y subjetivas del riesgo radiacional deben ser tomadas en consideración por igual para la elaboración de los criterios de la apreciación de la tolerancia social del riesgo radiacional. La estrategia de la estimación de la tolerancia social del riesgo radiacional, permite evitar la toma de decisiones erróneas en base a aquellos cálculos

equivocados sobre la bases de índices técnicos. En las condiciones actuales, esta estrategia es la condición sine qua non para la aprobación de decisiones adecuadas y ejecutables que garanticen el desarrollo progresivo de las tecnologías nucleares.

Existe un estado de alerta permanente de la comunidad respecto a la introducción de tecnologías nucleares para la generación eléctrica. La energía nuclear es siempre un tema "noticia" para la comunidad.

Por consiguiente, es necesario considerar una compensación socio-económica a la población en relación al riesgo esperado. Para ello en los planes de "difusión" se deberá detallar con argumentos sencillos, las ventajas que esta tecnología traerá a la población, incluyendo la ventaja ecológica para el medioambiente, comparándola con otros medios tradicionales de producción de energía.

Para la valoración de las consecuencias sociales de, por ejemplo el comienzo de la operación de una nueva central nuclear, es necesario determinar las probabilidades de su ocurrencia durante un determinado período de su operación y la dependencia de tales probabilidades de una u otra condición. Todo esto debe ser conocido por la sociedad que puede, voluntariamente, escoger ese riesgo y apoyar o no la construcción de la central nuclear.

Muchas veces hay contradicciones entre el significado social de la energía nuclear en la perspectiva a mediano y largo plazo y el bienestar social que esta trae a la comunidad. Por eso es necesaria además de la labor de difusión que se realiza en centros especiales, efectuar una labor complementaria que involucra los siguientes aspectos:

- Informar por los medios de comunicación de manera objetiva sobre todos los aspectos relacionados con el funcionamiento de la energía nuclear.
- Crear una comisión de peritos independientes, no solo para validar las decisiones tomadas, sino también para monitorear las centrales nucleares en funcionamiento.
- Publicar estudios de científicos y especialistas respecto a este tema.
- Asegurar el acceso de los representantes de la población a las instalaciones del ciclo de combustible nuclear.
- Reaccionar con argumentos sencillos pero eficaces a las acciones de los "activistas verdes".

- Representantes de la administración de la central nuclear deben participar activamente en los medios sociales de la comunidad y desarrollar planes de cooperación social.

- Crear instancias de dialogo entre la administración de las centrales nucleares y representantes de la comunidad.

En resumen, una adecuada información, un dialogo fluido, son aspectos imprescindibles para una convivencia armoniosa entre la población y la industria nuclear.

10.5. La influencia de la energía nuclear en la salud de las personas

Determinar el verdadero efecto de la industria nuclear sobre la salud de la población es una tarea sobre la cual continuamente se está trabajando. Los datos disponibles en diferentes países confirman que, al medir la influencia negativa de la industria nuclear sobre la persona, esta aparece en el número 20 del ranking. Para el caso particular de Rusia, de acuerdo con las estadísticas existentes en el período 2003-2004, en el primer lugar de peligrosidad para la salud de las personas, está la industria del carbón (véase las Tablas 10.1 y 10.2).

Tabla 10.1 *- Lugar, de acuerdo a los índices de la mortalidad en Rusia, de la industria nuclear entre 21 ramas (para 10. 000 trabajadores).*

Ranking	**Rama industrial**	**2003**	**2004**	**2005**
1	Industria carbonífera	55,6	81,09	21,64
12	Industria de extracción del petróleo	1,53	1,85	2,62
18	Industria de derivados del petróleo	0,61	0,74	0,96
19	Industria eléctrica	0,55	0,79	0,86
20	Industria nuclear	0,64	0,45	0,60
Promedio en Rusia		1,78	1,56	1,52

Para la población el nivel del riesgo de muerte por diferentes causes varía entre 10^9 hasta 10^2 personas/año. El riesgo 10^9 corresponde a los eventos no significativos, en su cantidad, que ocurren en los domicilios de las personas. El nivel del riesgo de muerte más alto es el de 10^2 y se presenta en actividades laborales consideradas peligrosas. Sin embargo, tomando en consideración que el tiempo general de la actividad en ese grupo de riesgo se compone, como regla, de no más de algunos centenares de horas al año, solamente en casos especiales el riesgo en este grupo superará el riesgo máximo de muerte por enfermedades igual a 10^2 por año (Tabla 10.3).

Tabla 10.3 *- Riesgos de muerte individuales anuales para la población de Rusia*

Factores del riesgo	**Expuestos al riesgo (millones de personas)**	**Riesgo**
Todas las causas	69 (hombres)	$2,0 \times 10^{-2}$
Accidentes	69 (hombres)	$3,3 \times 10^{-3}$
Contaminación fuerte del medioambiente	15,2	1×10^{-3}
Residencia cerca de las centrales termoeléctricas a carbón	15-20	5×10^{-4}
Zona restrictiva de la central nuclear de Chernobyl	0,1	8×10^{-5}
Residencia cerca de las refinerías de petróleo	2,5	1×10^{-5}
Residencia dentro de 30 Km. de la zona de combinados de minería química	0,16	3×10^{-6}
Residencia cerca de una central nuclear	0,3	7×10^{-7}

Tabla 10.4 *- Riesgo para la salud de contaminantes atmosféricos clásicos para la población de Europa (480 millones de personas)**

Resultado de la influencia	Carbón piedra, hulla	Carbón lignito	Gas natural	Energía nuclear	Energía solar	Energía eólica
Años perdidos de vida	136	164	44	7	14	3
Costo hospital por enfermedad de respiratorias	0,64	0,81	0,22	0,037	0,071	0,015
Costo hospital a causa de enfermedad cerebrales	1,7	1,9	0,54	0,089	0,17	0,036
Costo hospital a causa de enfermedades del corazón	0,80	0,95	0,25	0,044	0,083	0,017
Días sin trabajar en general	4686	5624	1513	257	589	101
Días sin trabajar enfermedades bronquiales	1.286	1.543	415	71	134	28
Días sin trabajar por asma asmáticos, días	1.472	1.766	475	81	154	32
Días por enfermedades crónicas con lesión de las vías respiratorias	9	13	3	0,5	0,94	0,19
Días por enfermedades infantiles crónicas.	128	153	41	7	14	2,7

Los resultados de este cuadro muestran sin lugar a dudas el bajo nivel de peligrosidad que representa la industria nuclear sobre la población humana. A modo de ejemplo, las investigaciones muestran que la dosis anual de irradiación adicional para quienes viven

cerca de las centrales nucleares representa de 1 a 5 mRem/año (roentgen-equivalent-man, Rem) y es comparable con la dosis que se recibe cada vez que se realiza una radiografía de dientes y casi 9 veces menor a la dosis de irradiación del televidente, que alcanza a 48 mRem/año y 20 veces menor al fondo medio natural de las superficie de la Tierra que es de 100 mRem/año. La central nuclear trabajando en régimen normal, emite a la atmósfera una cantidad muy pequeña de gases radiactivos, en los cuales solamente el yodo participa en el ciclo de vida, y además con un período de vida media muy corto, de modo, que en 8 días el yodo pierde su radiactividad (ver Tabla 10.5.).

Tabla 10.5 *- Emisiones a la atmósfera de radionúclidos para las diferentes etapas del ciclo del combustible nuclear [TBq/TWh].*

Radionúclido	Extracción del uranio	Producción del concentrado			Conversión	Enriquecimiento	Producción del elemento combustible	Explotación en la central nuclear	Reprocesamiento del combustible
		En la explotación	De los deshechos*	De los deshechos**					
^{3}H								$7,9x10^{-2}$	$2,4x10^{-2}$
^{14}H							$1,8x10^{-9}$	$7,3x10^{-3}$	$3,8x10^{-2}$
Aerosoles							$1,3x10^{-10}$	$3,5x10^{-7}$	
Gases radiactivos nobles							$4,4x10^{-10}$	1,5	$3,8x10^{-2}$
^{129}I									$2,7x10^{-5}$

Radionúclido	Extracción del uranio	Producción del concentrado			Conversión	Enriquecimiento	Producción del elemento combustible	Explotación en la central nuclear	Reprocesamiento del combustible
		En la explotación	De los deshechos*	De los deshechos**					
^{131}I								$9,5x10^{-7}$	$3,8x10^{-7}$
^{133}I									$1,7x10^{-7}$
^{222}Rn	18,8	0,11	1,1	$1,1x10^{3}$					
^{234}U					$3,4x10^{-7}$	$1,7x10^{-7}$			
^{235}U					$1,5x10^{-8}$	$8,9x10^{-9}$			
^{238}U					$3,2x10^{-7}$	$1,3x10^{-10}$			
^{238}Pu									$5,4x10^{-12}$
^{239}Pu									$1,2x10^{-11}$

** En el proceso de operación*

*** Después de la conclusión de la operación, durante 10 años*

Las emisiones de las centrales termoeléctricas contienen, principalmente, elementos que participan activamente en el ciclo de vida. Muchas sustancias específicas contenidas en estas emisiones representan un alto peligro biológico pero su contenido simplemente no se controla por ninguna norma. En la quema del carbón además de la ceniza y el hollín se forman el bióxido del carbono que genera el efecto de invernadero; los gases tóxicos como los óxidos del carbono, del azufre, del nitrógeno y del vanadio que provocan las lluvias ácidas y los envenenamientos ácidos; también en estas emisiones están presentes los hidrocarburos (compuestos policíclicos aromáticos) de influencia cancerígena entre ellos benzopyrena y formaldehido; los vapores de los ácidos clorhídrico y fluorhídrico; metales

tóxicos como el arsénico, el cadmio, el mercurio, el plomo, el talio, el cromo, el sodio, el níquel, el vanadio, el boro, el cobre, el hierro, el manganeso, el molibdeno, el selenio, el zinc, el antimonio, el cobalto, el berilio; los radionúclidos de vida media larga como el uranio, el torio, el polonio, que en su conjunto pueden provocar 1.000 veces más muertes que los desechos radioactivos. La característica de los desechos cancerígenos de las centrales termoeléctricas es presentada en la Tabla 10.6.

Tabla 10.6 *- Emisiones globales de las centrales termoeléctricas.*

Denominación	**Cantidad [t/año]**
Anhídrido sulfúrico	5765,7
Bióxido del nitrógeno	4576
Oxido del nitrógeno	743,5
Sustancias suspendidas (polvo, aerosol)	148,3
Ceniza	2205,7
Oxido del carbón	50,3
Hidrocarburos	1,8
Formaldehido	6
Metales pesados	5

Los cálculos del riesgo de muerte para la población como consecuencia de la contaminación del aire por las sustancias suspendidas, en ciudades con centrales termoeléctricas grandes de carbón, han mostrado que los riesgos individuales anuales se encuentran a nivel de 10^{-3} a 10^{-4} (Tabla 10.7). El riesgo total de muerte para la población que vive en el área de influencia de las centrales termoeléctricas de carbón, se estima entre 8-10 mil muertes adicionales al año.

Tabla 10.7 *- Riesgo anual individual y poblacional de muerte para los habitantes de algunas ciudades rusas con centrales termoeléctricas de carbón*

Ciudad	Concentración media anual de las sustancias en suspensión, parte de la concentración límite admisible	Riesgo de muerte individual anual	Población, miles de personas	Riesgo de muerte poblacional anual, personas
Asbest	2,0	$10x10^{-3}$	117,9	117
Nazarovo	0,5	$1,08x10^{-4}$	64,2	70
Cheremjovo	3,6	$1,9x10^{-3}$	50,0	96
Chita	1,8	$8,8x10^{-4}$	316,7	278
Novocherkask	0,8	$3,2x10^{-4}$	188,7	60

Es necesario notar que los datos actuales del riesgo calculado de las centrales termoeléctricas son todavía aproximados, puesto que en ellos no se ha tenido en cuenta la influencia negativa a largo plazo, de los microelementos tóxicos; los óxidos del azufre, el carbono, el nitrógeno y otras emisiones.

El análisis del impacto en la salud los distintos factores nocivos de las centrales termoeléctricas, es complicado por la incertidumbre de la descripción de la dependencia entre la dosis y el efecto, puesto que no siempre se logra establecer la correlación de cada uno de ellos con la reacción de respuesta del organismo y la extrapolación al organismo humano de los datos obtenidos en los experimentos con animales.

En la combustión del combustible fósil, se emiten a la atmósfera elementos radiactivos como el ^{40}K, ^{238}U, ^{226}Ra, ^{232}Th y los productos de su desintegración. Una central termoeléctrica de una potencia de 1.000 MW, con un coeficiente de limpieza de los residuos de 0,975, emite a la atmósfera durante un año en GBq: ^{40}K - 4,0, ^{238}U -1,5, ^{226}Ra - 1,5, ^{210}Pb – 5,0, ^{210}Po - 5,0 y ^{232}Th - 1,5.

En realidad, la tasa ceniza del carbón utilizado como combustible varía en un intervalo entre un 10 y un 45 %, dependiendo del yacimiento de extracción, por eso las centrales termoeléctricas presentan un valor muy alto de desechos de radionúclidos naturales al medioambiente (Tabla 10.8). La emisión diaria de ceniza a la atmósfera representa unas 36

toneladas y con una chimenea de 150-200m de altura, la central contamina un territorio de 50 Km de diámetro aproximadamente.

Tabla 10.8 *- Emisiones de radionúclidos naturales a la atmósfera y su acumulación en el suelo cerca de una central termoeléctrica de carbón con una potencia de 1.000 MW.*

Parámetro	**Radionúclido**					
	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th	^{228}Ra	^{40}K
Desechos gaseosos GBq	19,6	81,4	74,0	19,6	11,1	39,8
Acumulación en el suelo, GBq/m^3	388	1147	703	389	92,5	98,3
Densidad de la contaminación del territorio, GBq/m^2	0,39	1,15	0,70	0,51	0,09	0,38
Concentración en el aire, GBq/m^3	6,3	15,0	15,4	6,3	4,1	3,9

La oposición al desarrollo de la energía nuclear contribuye directamente al aumento de las centrales a carbón aumentado con ello las emisiones de gases de invernadero, especialmente las de dióxido de carbono. Al quemar 1 Kg del carbón se consumen 2,67 Kg. de oxígeno y se emite a la atmósfera 3,67 Kg del gas carbónico.

Según los cálculos realizados por ecologistas norteamericanos, en los últimos 30 años (desde 1970) gracias a las centrales nucleares, solamente en los Estados Unidos se evitó la emisión a la atmósfera de más de 2 mil millones de toneladas de dióxido del carbono. Solo en el 2002 se logró evitar la emisión de 2 millones de toneladas de óxido de nitrógeno, 4 millones de toneladas del gas sulfúrico y más de 650 millones de toneladas de gas carbónico.

Las emisiones de una central termoeléctrica de carbón, con un coeficiente de limpieza de los escapes de 0,975, son considerablemente más altos que en una central nuclear de igual potencia. La comparación de las consecuencias medioambientales de la operación de una central termoeléctrica de carbón, con un coeficiente de limpieza de las emisiones de 0,975, y una central nuclear de potencia igual de 1.000 MW se observa en la Tabla 10.9.

Tabla 10.9 *- Consecuencias ecológicas de operación de una central termoeléctrica a carbón (con coeficiente de limpieza de emisiones de 0,975) y una central nuclear de igual potencia de 1.000 MW.*

Índices	Central Termoeléctrica	Central Nuclear
Consumo de combustible	12 MMt de carbón	286 t UO_2
Consumo de oxígeno atmosférico	5,5, MMm^3	-
Residuos en el medioambiente:		
Óxidos del carbono	10 MMt	-
Óxidos del nitrógeno	34,2 Mt	-
Óxidos del azufre	124,4 Mt	-
Hidrocarbonatos	23 t	-
Ceniza y hollín no capturado por los filtros Benzapiren	7,3 Mt	-
Pentóxido del vanadio	12 t	-
Metales pesados (Cu, Co, Pb, Sn, Zn, etc.)	37 t	-
Radionúclidos de vida media larga (^{40}K, ^{212}Pb, ^{210}Po, entre otros)	5 t	-
	40 Ci	2 Ci
Residuos sólidos	830 Mt	30 t
Uso de la tierra en la extracción del combustible:		
Área ocupada	130 Ha	15,4 Ha
Potencia de dosis en la cercanía de la central	45-80 mR/h	10-14 mR/h

Al quemar combustible fósil (petróleo, gas, carbón), el ser humano destruye la estructuras naturales, aporta caos a la biósfera, y destruye aquel ordenamiento que se ha formado a lo largo de milenios gracias a la energía solar.

Respecto al riesgo radiacional, al cual se le atribuye a la central nuclear como su principal aspecto peligroso, lo cual no se puede desconocer que es así, sin embargo la ciencia ha

probado que este riesgo se puede minimizar mediante el adecuado uso de esta tecnología. Pero no podemos decir lo mismo en las centrales termoeléctrica a carbón, industria que tiene altos niveles de radioactividad en su entorno y a los cuales no se le pone la debida atención en comparación a la central nuclear, que tiene bajos niveles de radioactividad en su entorno, niveles tales que no afectan a la salud humana. (Tabla 10.10), Entonces, ¿por qué ocurre esto, si la generación núcleo-eléctrica es potencialmente peligrosa? Pues la industria nuclear, es una industria eminentemente tecnológica, en la cual si se actúa responsablemente, se puede administrar científicamente los riesgos inherentes a su uso.

Tabla 10.10 *- Estructura de irradiación a la población en algunos territorios de Rusia en el 2005*

Región, territorio	**Irradiación por fuentes naturales, %**	**Irradiación médica, %**	**Irradiación por precipitaciones globales de sustancias radiactivas de radiaciones anteriores, %**	**Irradiación antropogénica por las empresas que usan fuentes de irradiación ionizante, %**
Zona de la influencia de la avería en la Central Nuclear de Chernobyl				
Región de Briansk	51,9	37,3	10,8	0,01
Región de Kaluga	74,9	24,0	0,9	0,18
Zona de la empresa nuclear "Mayak"				
Región de Sverdlovsk	58,7	39,5	1,7	0,14
Región de Chelyabinsk	74,5	24,7	0,6	0,24
Zona de la influencia por pruebas de armas nucleares				
Territorio de Altay	81,9	17,8	0,29	0,01

El riesgo individual de por vida para el personal que opera en la rama nuclear de Rusia, por la dosis de irradiación industrial recibida en 2005, es de 1,1·10-4 que está bajo los límites establecidos por las normas de protección radiológica NRB-99, que es igual a 1.10^{-3}. La disminución de la irradiación del personal continúa a lo largo de varios años (Figura 10.2), y en la actualidad su nivel, para todas las centrales nucleares construidas según los proyectos rusos, excepto las centrales nucleares con los reactores RBMK, son comparables a las de las mejores centrales nucleares del mundo. El aporte de la irradiación profesional a la irradiación de la población no supera 0,03 %.

En año 2007, en Rusia los desechos gaseosos y líquidos proveniente de las centrales nucleares con reactores VVER-1000, han creado una dosis de irradiación de la población comparándola con el fondo radiológico natural no mayor de 0,1 mSv y con los reactores modelo VVER-400 y RBMK-1000 de 0,5 y 2,0 mSv respectivamente. Así, el nivel de influencia radiacional de las centrales nucleares a la población y al medioambiente no ha superado el 0,06% de la dosis creada por las fuentes naturales de radiación ionizante. Los datos presentados, permiten hablar con argumentos sólidos respecto a la seguridad ambiental de las centrales nucleares.

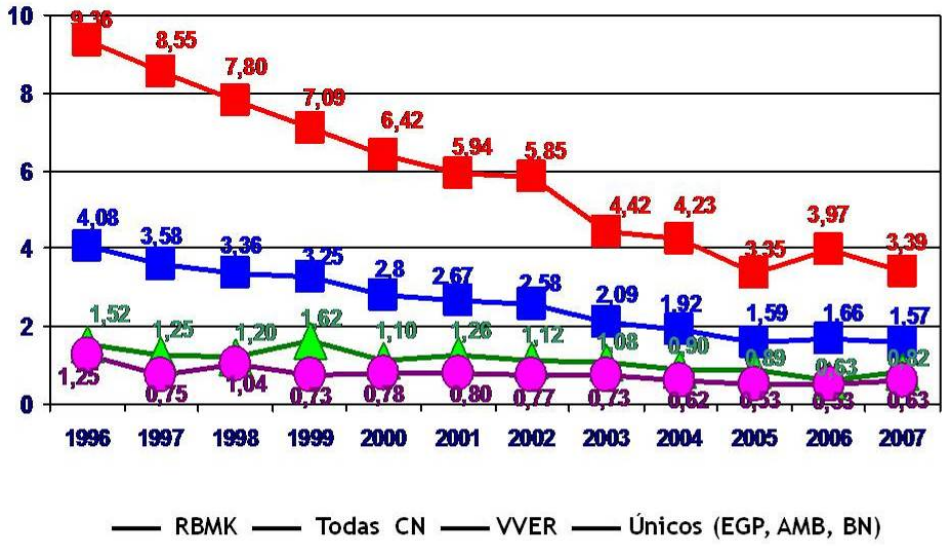


Figura 10.2 *- Dosis colectivas de irradiación por persona según modelos de reactores (persona/Sv/año).*

En 13 regiones de la Federación de Rusia las dosis medias de irradiación de la población por fuentes naturales es de 5 mSv/año, y en total en el globo terráqueo varían de 1,5 a 15 mSv/año, alcanzando en los algunos lugares 50 mSv/año.

La industria nuclear contribuye a la dosis colectiva de irradiación de la población con un 1%, de las cuales las precipitaciones globales a consecuencia de las pruebas de armas nucleares que es un 0,9%, y las centrales nucleares es el 0,1% restante. En la Tabla 10.11 se muestran los datos sobre la dosis de irradiación de la población que vive en la proximidad de una central nuclear.

Tabla 10.11 *- Dosis de irradiación de la población cerca de la industria nuclear de Rusia en 2002-2005.*

Empresas	Población irradiada, miles de persona	Dosis eficaz anual [mSv/año]		
		Exterior	Interior	Total
Consorcio Mayak	320	0,01	0,10	0,11
Combinado minero químico	200	0,03	0,02	0,05
Combinado químico de Siberia	400	0,0004	0,005	0,054

Los riesgos de cáncer para la población ubicada en la zona de influencia a irradiaciones de empresas nucleares representan de 10^{-6} a 10^{-7}. Es un nivel insignificante. Estos niveles resultan hasta tres veces menores a los riesgos vinculados con la contaminación química del aire atmosférico en las grandes ciudades industriales.

Como se señaló, la emisión de residuos de las centrales termoeléctricas a carbón no está adecuadamente normada y por consiguiente no son controlados en su totalidad por la autoridad competente, especialmente en la porción radioactiva de sus emisiones. Los desechos radiactivos de las centrales nucleares en cambio están regulados en todo el mundo por normas extremadamente eficaces. El marco jurídico de la industria nuclear en el campo de la seguridad radiacional, se distingue por su rigidez y eficiencia en su aplicación sobre el factor radiacional a diferencia de lo que ocurre en el uso de otras fuentes de energía.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha señalado que la Federación Rusa dispone de uno de los Marcos Legales más severos para la protección de las personas y el medioambiente, tales como, La ley Federal “Sobre la protección radiológica de la población”, “Normas de protección radiológica (NRB-99)”, "Reglamentos básicos sanitarios del aseguramiento de la protección radiológica (OSPORB-99)», las que garantizan una

adecuada protección radiológica del país y limitan los niveles a los que se puede llegar en los distintos tipos de actividad de radiación ionizante.

La ciencia moderna dispone de datos completos sobre el impacto de la radiación en diferentes niveles de la escala biológica, desde el nivel molecular hasta el organismo en su totalidad. Se ha demostrado que los efectos eventuales de la irradiación a excepción de situaciones extraordinarias vinculadas a los accidentes por fuga de radiación, estos no se distinguen en nada de otros efectos análogos provocados en la naturaleza. También se ha determinados que no hay casos de enfermedades hereditarias en descendientes de personas que han sufrido exposición a la radiación, tampoco hay antecedentes en los descendientes de aquellos pobladores japoneses, que fueron afectados por la radiación emanada de las dos bombas nucleares lanzadas por Estados Unidos sobre Japón. Esta ausencia de defectos hereditarios se da también en el personal que opera en las empresas de la industria nuclear y en la población que vive cerca de una central nuclear (Tabla 10.12).

Tabla 10.12 *- Riesgo para la salud de personas que trabajan en empresas del ciclo del combustible nuclear (Número de casos mortales/GWt*año).*

Fuente de influencia	**Carácter del riesgo**	**Para el personal**	**Para la población**
Extracción de uranio			
Subterránea	Directo	0,045-0,36	0,0012-0,125
	Alejado radiacional	0,07-0,37	
Abierta	Directo	0,05-0,11	0,125
	Alejado radiacional	0,06	
Producción del combustible	Directo	0,006-0,084	
	Alejado radiacional	0,0367-0,13	0,00005-0,5
Transporte	Directo	0,001-0,012	0,002-0,01
	Alejado radiacional	0,001-0,0048	
Generación de energía eléctrica	Directo	0,013-0,023	
	Alejado radiacional	0,32-0,385	0,0007-0,1025

Fuente de influencia	Carácter del riesgo	Para el personal	Para la población
Conclusión de la explotación	Directo Alejado radiacional	0,0008 0,0008	
Manejo de los desechos radiactivos	Alejado radiacional	0,0015	0,00002-0,02

El principal obstáculo que enfrenta el desarrollo de la industria nuclear es la apreciación subjetiva que tiene una parte importante de la población respecto a los niveles de seguridad que ofrece esta tecnología para la salud de la población. A la sociedad moderna le es necesario un sistema de percepción real respecto a los peligros existentes que ella enfrenta en relación a la producción de energía en todos los sistemas que actualmente operan y asumir que el riesgo cero no existe en ninguno de ellos, pero existe el riesgo justificado, escrupulosamente analizado en base a datos científicos y actualizados.

Conclusiones

Desde sus inicios, la industria nuclear ha sido desarrollada a partir de decisiones estratégicas por parte de los gobiernos como una cuestión de Estado en la que factores como los geopolíticos y económicos han tenido prioridad por sobre la opinión ciudadana. Y es comprensible que así haya sido, tomando en cuenta su complejidad y el alto grado de especialización técnica y científica relacionada, así como el contexto histórico que se vivía en esa época. No obstante, en la actualidad esto ya no solo es imposible, sino que además resulta inaceptable dada la consolidación de los derechos civiles como elemento fundamental para el desarrollo social y el consenso internacional sobre los valores democráticos que imponen informar oportuna y extensamente a la ciudadanía sobre temas que afectan directamente a su calidad de vida.

Por eso, para iniciar hoy un plan de desarrollo nuclear una de las tareas importante a considerar es educar a la población en todos los aspectos que permitan a las personas formarse una opinión propia, libre de prejuicios fundados en el desconocimiento o la publicidad adversa proveniente de otros sectores antagónicos.

El fortalecimiento de la aceptación de la energía nuclear por parte de la mayoría de la población es una tarea importante en la cual está vinculada la posibilidad misma del desarrollo exitoso de esta rama industrial, ya que la hostilidad social hacia un proyecto como este, puede convertirse en factor decisivo para la necesidad de algunos países de contar con un plan energético seguro y sustentable. La oposición pública existente se basa en gran parte en un factor subjetivo que predomina y refleja el desconocimiento de esta tecnología, sus beneficios y las compensaciones sociales que puede aportar. La clave está en hacer comprender a la población que el factor riesgo, aunque es bajo, existe y es inherente al desarrollo de la actual sociedad, hay que saber manejarlo y compensarlo con los beneficios, para lo cual la selección de la tecnología más adecuada y las empresas responsables es un elemento en el que no se puede actuar con una mirada parcial o de corto plazo.

Cambiar la percepción ya fijada en la mente de las personas sobre cualquier materia no es algo sencillo, especialmente si aquello dice relación con sus más íntimos temores. Sin embargo, la historia ha demostrado que las masas son capaces de incorporar nuevos elementos cognitivos cuando los argumentos y las evidencias son contundentes y, además, la planificación del mensaje, tanto en forma como fondo, se ajusten a la psicología y la sociológica. En lo relacionado a la energía nuclear esto no se ha hecho aun en países como Chile, pero de todas formas es posible apreciar una evolución positiva respecto a las ideas

existentes, sin duda a causa del acceso a información de otras partes del mundo a través de los medios de comunicación globalizados.

Bibliografía

10.1.- E. P. Velikhov, La energética nuclear y termonuclear en el siglo XXI / la Energía: la economía, la técnica, la ecología. - №10,2001. P.11-12

10.2.- Osmachkin B. S., Acerca de las valoraciones de los factores biológicos de la influencia radiacional//Energía, economía, técnica, la ecología. - № 12,2001. P.2-13

10.3.- Polacov V. I., Energética nuclear sin desechos radioactivos//Energía: economía, técnica, ecología. № 7, 2001. P. 8-15.

10.4.- Plankina N. A., La aceptabilidad social de la energética atómica: el análisis sociológico y la estrategia de la formación. – Resumen de la tesis predoctoral. Las ciencias. - Saratov, 2003.

10.5.- Ponukalin A. A., Estrategia de la dirección social del desarrollo de la energia atómica. Tesis para optar al grado de Candidato a Doctor en Ciencias Sociales. Las ciencias, de los fondos RGB, 2005

10.6.- Gamo E., Energía sin peligro. Energía: economía, técnica, ecología. № 82001. p.6-12.

10.7.- Subbotin S. A., Riesgo: condición indispensable del desarrollo//Energía: economía, técnica, ecología. - № 8,2001. p.13-16.

10.8.- Afanasiev A. A., Costo del riesgo del daño a la salud//Energía: economía, técnica, ecología / № 10, 2000. p.46-51.

10.9.- Ponukalin A. A., Energética atómica: Peligro objetivo y subjetivo//Problemas científicos de la seguridad nacional de Rusia. - Saratov: 2003. - pag. 178-184.

10.10.- González A. J. Webb J. A. M., Evolución del enfoque del problema de la seguridad / Boletín de información del Centro de Información Social (CIS), 1990-1991.

10.11.- Recomendaciones sobre la aplicación de la escala de los acontecimientos, CIS, 1990.

10.12.- Blumer G., El pensamiento sociológico norteamericano. La conducta colectiva. 1994.

10.13.- Nechaev A. F., Fedorkin R. S., Sobre los aspectos socio-económicos del desmantelamiento de las instalaciones nucleares. En los materiales del Foro Internacional Nuclear, 2006, San-Petersburgo, Rusia, 25-26 de Sept. 2006, pag. 105-110.

10.14.- Voronov D. B., Fomichev A. I., Proyecto de la organización de la protección compleja de seguridad de la central nuclear con el reactor BN-800 sobre el ejemplo de la CN Beloyarsky. Informe a la Conferencia "Seguridad de las tecnologías nucleares: el mantenimiento de la seguridad durante el transporte de los materiales radioactivos y el manejo de los residuos radioactivas (ATOMTRANS-2006)", San-Petersburgo, Rusia, 26-29 de Sept. 2006

10.15.- Sorokin V. T., Kalinkin V. I., Demin A. V., Conceptos básicos de la creación de los Centros Regionales para la Gestión de los desechos radiactivos en la Región Noroeste de la Federación Rusa. Informe a la Conferencia "La Seguridad de las tecnologías nucleares: el mantenimiento de la seguridad durante el transporte de los materiales radioactivos y la gestión de los desechos radioactivas (ATOMTRANS-2006)", San-Petersburgo, Rusia, 26-29 de Sept. 2006

10.16.- Levin N. B., Yarosh V. I., Elementos de la cultura de la protección física, registro y control de los materiales nucleares en las empresas del transporte marítimo.

10.17.- Informe a la Conferencia "La Seguridad de las tecnologías nucleares: el mantenimiento de la seguridad durante el transporte de los materiales radioactivos y la gestión de los desechos radioactivas (ATOMTRANS-2006)", San-Petersburgo, Rusia, 26-29 de Sept. 2006

10.18.- Rusanov V. A., Los riesgos de las enfermedades oncológicas por la irradiación crónica: registro médico dosimétrico en el Combinado de minería química. En los materiales del Foro Internacional Nuclear, 2006, San-Petersburgo, Rusia, 25-29 de Sept. 2006, pag. 126-129. 6. Rimsky-Korsakov A. A. No es tan terrible el átomo, como lo pintan. La entrevista a la revista de divulgación científica «Máquinas y mecanismos»/5 (8) 2006, pag. 16-19.

10.19.- M. N. Tikhonov, O. E. Muratov, San Petersburgo, Las influencias cancerígenas de las energéticas térmica y atómica. Según los materiales de la conferencia "La Seguridad de las tecnologías nucleares: la economía de la seguridad y el manejo

de las fuentes de irradiación ionizante".

10.20.- Normas de la seguridad radiacional (NRB-99) del Ministerio de la Salud de Rusia, la edición oficial. - 115 pag. 8. Agapov A. M., Makuhin D. V., Nóvikov G. A, Radaev N.N. Cuestiones actuales de la seguridad ecológica del MINATOM de Rusia. El material de conferencias / Editorial de la Biblioteca del Departamento de la seguridad, ecología y situaciones extraordinarias del MINATOM de Rusia / Moscú, 2003, 309 pag.

10.21.- Malakhovsky V. N., S. A. Kutsenko, A. N. Galitskii, I. A. Zykova., Ecological and Professional Risks Perception by Students and its Possible Determinants. In Proc. 9-th Annual Conference Risk Analysis: Facing the New Millenium. Rotterdam, The Netherlands, 10-13 October 1999, p. 494-497.

10.22.- Malakhovsky V. N., S. A. Kutsenko, A. N., Galitskii I. A. Zykova, Risk perception and foresight by medical students. In Proc. ESREL 2000, SARS and SRA-Europe Annual Conference Edinburg/Scotland/United Kingdom/15-17 May 2000, p. 1163-1164.

10.23.- El monitoreo de los efectos sociales-psicológicos cerca de la población de los territorios radioactivos contaminados. El subsidio para los médicos. G. V. Arhangelskaja, I. A. Zykova. Утв. Ministerio de Salud, Febrero 1999

10.24.- Slovic P. Perception of Risk. Science, 1987 - Vol. 236 - P. 280-285.

10.25.- Kuchumov V. V., Liapkalo A. A., Investigación de la valoración subjetiva de la influencia de la irradiación antropogénica sobre la salud de la población. - San Petersburgo.: Higiene radiacional, 2004, pag. 166-173.

10.26.- Stoberg L. Discussion of the Limitations of the Psychometric and Cultural Theory Approaches. Rad. Prot. Dosim., 1996 - Vol. 68 - N. 3-4 - P. 219-226.

Capítulo 11

Riesgos asociados a las diferentes fuentes de energía

11.1. Consideraciones generales[173, 174]

El desarrollo industrial y en un sentido más amplio, el progreso que eleva constantemente los valores materiales y morales de la sociedad, se han convertido paradójicamente a su vez en una fuente principal de riesgo. Es un hecho reconocido, que ninguna fuente de energía es completamente inocua para el hombre y el medioambiente. En términos técnicos, el nivel cero de riesgo es posible únicamente en sistemas en los cuales no se almacene energía ni ningún componente químico o biológicamente activo, de aquí que el empleo cada vez más intensivo de energía, a nivel mundial, implica necesariamente un determinado nivel de inseguridad.

Ante la imposibilidad de vivir en un mundo absolutamente seguro, tanto los individuos como la sociedad aceptan determinados riesgos e incluso, llegan a olvidarse de su existencia cuando son lo suficientemente pequeños y se está normalmente acostumbrados a ellos.

Además de los riesgos relacionados con la salud, existen otros muchos aspectos importantes, tales como su repercusión social, las ventajas económicas, el impacto en el medioambiente y los daños físicos, que deben tenerse en cuenta a la hora de decidir una actividad frente a otra.

La generación de electricidad produce el 27% de las emisiones de CO_2 y es una de las fuentes más importantes de gases efecto invernadero. Se ha hecho evidente que no pueden existir fuentes de energía ambientalmente puras. El uso de cada tecnología se acompaña, inevitablemente, de la contaminación térmica del medioambiente, la polución atmosférica con las sustancias tóxicas y CO_2, la intervención del paisaje, entre otros. La experiencia ha demostrado que estas consecuencias negativas tienen lugar cuando los argumentos tecnológicos y económicos priman sobre las exigencias sanitarias, higiénicas y ecológicas.

La contaminación del medioambiente y la aparición de riesgos que acompañan el desarrollo industrial moderno constituyen actualmente una preocupación prioritaria para todo nuevo

[173] Risks and Benefits of Nuclear Energy, NEA No. 6242, OECD, 2007.
[174] L. A. Sachenko, Las bases metodológicas de la administración del riesgo en la energía nuclear, Autoreferat de la tesis a Candidato a Doctor en Ciencias Económicas, 2006.

proyecto o desarrollo industrial. No solo se evalúan las ventajas económicas que estos proyecto pudieran generar sino que también se realiza una evaluación más amplia donde se incluye el impacto que implica su implementación, así como los riesgos y las consecuencias negativas que podrían surgir con la ejecución del proyecto. Por eso determinar los "niveles aceptables" representa un problema muy difícil, tanto económico, político y social, como tecnológico, ya que ***de no aceptarse riesgos se limita el desarrollo***.

En la metodología riesgo-utilidad existen muchos elementos indeterminados. Por eso se usa el enfoque equilibrado de solución de las tareas científicas, legislativas, sociales y jurídicas, el cual ha mostrado funcionar de manera positiva en la práctica.

En opinión del Consultor, el criterio más acertado para definir es el de **tolerancia del riesgo**:

- Los niveles de riesgo aportados con la introducción de una nueva tecnología pueden considerarse socialmente aceptables si uno de los efectos finales útiles de su uso, es la reducción de tal impacto y del riesgo total al que se somete la población.

- Si resulta que lo aportado por la nueva tecnología no se compensa por la disminución adicional de sus riesgos y, por el contrario, estos en total aumentan, es razonable considerarlos como socialmente inaceptables y se deben introducir medidas adicionales de seguridad o bien rechazar por completo la aplicación de tal nueva tecnología.

En cuanto al nivel admisible de riesgo de cualquier actividad, varias organizaciones internacionales y nacionales proponen aceptar el valor de $1 \cdot 10^{-6}$ (un caso por 1.000.000) al año, lo cual corresponde al riesgo de pérdida por causa de siniestros (ver Tabla 11.1).

Tabla № 11.1- *Clasificación de riesgo de las actividades profesionales.*

Categoría	Condiciones de actividad	Rango de riesgo de muerte personas por año
I	Seguro	$<1 \cdot 10^{-4}$
II	Relativamente peligroso	de $1 \cdot 10^{-4}$ a $1 \cdot 10^{-3}$
III	Peligroso	de $1 \cdot 10^{-3}$ a $1 \cdot 10^{-2}$
IV	Especialmente peligroso	$>1 \cdot 10^{-2}$

Esta clasificación en cierto modo es condicional, pero permite comparar las circunstancias de la actividad profesional en distintas industrias, especialmente en las nuevas ramas productivas y sobre esta base juzgar el riesgo. Conforme al concepto de riesgo admisible, si el valor es superior al rango aceptable, dicho riesgo ha de ser reducido. En caso contrario tal actividad debe ser prohibida.

La comparación entre el valor recomendado de riesgo admisible $1 \cdot 10^{-6}$ por año y el valor de riesgo que reviste la presencia y funcionamiento de la central nuclear, que representa $0{,}2.10^{-6}$ por año (cinco veces menor que el valor aceptado) se ajusta holgadamente a estas exigencias de seguridad. Este riesgo es tan bajo porque la probabilidad de producirse un accidente es muy pequeña, producto de las altos niveles de seguridad garantizados en el diseño de las centrales nucleares. Desde 1945 a la fecha en todo el mundo solo han ocurrido dos accidentes en centrales nucleares que han provocado emisión de sustancias radioactivas al medioambiente: los accidentes de Three Mile Island (Estados Unidos, 1979) y Chernobyl (Ucrania, 1986)

En la Tabla 11.2[175] se presenta el riesgo medio anual de muerte debido a eventos naturales, hábitos humanos y accidentes antropogénicos. Con base a estos resultados si se sigue la lógica, ***el público debería renunciar entonces a viajar en el transporte público, ir a un partido de futbol, practicar alpinismo, etc. pero en realidad tales decisiones no ocurren. En este caso el riesgo se acepta y forma parte de la actividad cotidiana.***

Tabla № 11.2 - *Riesgo medio anual de muerte debido a eventos naturales, hábitos humanos y accidentes antropogénicos.*

Causa	Probabilidad de muerte
Fumar 20 cigarrillos diarios	1/200
Gripe	1/5.000
Viajar en transporte público	1/10.000
Concurrir a un estadio de futbol	1/25.000

[175] Journal of the American Medical Association 244, II: 1126-112 y Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina

Practicar alpinismo	**1/25.000**
Tomar píldora anticonceptiva	**1/50.000**
Terremoto (California)	**1/600.000**
Central Nuclear	**1/10.000.000**
Repositorio de desechos radioactivos de alta actividad	**1/100.000.000.000.000**

Las sustancias contaminantes del medioambiente por sí mismas influyen con frecuencia negativamente en el fomento de la industria, siendo esas mismas materias resultado o derivados de ésta. Por eso, al evaluar la correlación entre utilidad y daño es necesario también tener en cuenta este aspecto del Impacto ambiental de los contaminantes. Desafortunadamente no existe hoy un parámetro internacional de "impacto aceptable", ya que depende de la legislación de cada país.

No obstante, en lo que a emisión de gases de efecto invernadero se refiere, para los países que suscribieron y ratificaron el protocolo de Kyoto quedó establecida la meta de reducirlas en un 5% entre 2008 y 2012, tomando como punto de partida los índices de 1990. De esta forma se ha señalando de manera implícita que el nivel aceptable de polución es cero o debería ser cero. Lo cierto es que desde la firma de este convenio las emisiones han seguido aumentando progresivamente en decenas de países, incluido Chile, llegando a un punto más alto jamás registrado en 2005. A pesar de eso, la Organización de Naciones Unidas publicó posteriormente estimaciones según las cuales los signatarios del Protocolo cumplirán, en conjunto, la meta trazada hasta el 2012. Este contrasentido se explica por el hecho de que los países signatarios completaron el 63,7% de las emisiones recién en 2005, luego de la ratificación de Canadá y Rusia, que produce un 17,4% de las emisiones; y principalmente a la ausencia de Estados Unidos, el principal emisor del mundo con 25% del total, que no obstante ha puesto en marcha una política nacional con criterios propios de reducción de emisiones.

Es de suponer, que en la segunda reunión del Protocolo, a realizarse en Copenhague en 2012, se establecerán acuerdos más rígidos que constituyan un estándar internacional en esta materia.

11.2. Análisis de los riesgos asociados a las diferentes fuentes de energía

11.2.1. Riesgos relacionados con las fuentes de energías renovables[176]

Una central hidroeléctrica trae consigo una serie de transformaciones que modifican el curso de las aguas de los ríos. Estas transformaciones bien empleadas pueden utilizarse para el control de inundaciones, riegos, suministro de agua potable y para instalaciones industriales. Sin embargo, el riesgo más importante de esta forma de generar energía se concentran en los accidentes catastróficos derivados del hundimiento de presas o embalses. En su fase constructiva los accidentes que puedan ocurrir afectan principalmente a los trabajadores. En la operación de la central los riesgos son de tipo catastrófico, por rotura del muro de contención de la central o por perdida del asentamiento del mismo, tras un posible desplazamiento del mismo. En este caso de pone en libertad un gran volumen de agua, el cual puede producir daños catastróficos a la población cercana.

En el caso de las solares térmicas, se utilizan heliostatos o espejos, los riesgos los producen la luz reflejada en los espejos (pueden producir ceguera) y los fluidos con los que se trabaja, como sales de sodio, que en general son productos tóxicos. En el caso de las fotovoltaicas, el riesgo se produce en las fábricas donde se producen las fotoceldas ya que en este proceso hay riesgo de exposición a sustancias tóxicas y gases tóxicos y la toxicidad de ellos en caso de escape por accidente tiene también un riesgo a la salud pública.

Un parque eólico está formado por un gran número de unidades eólicas, de elevada altura, con paletas de los aerogeneradores de grandes dimensiones sometidas a fuerzas del viento muy intensas. Por ello, el riesgo principal radica en el desprendimiento de las paletas cuando las condiciones del viento superan los límites de diseño. Si estos parques están cercanos al punto de consumo aparece entonces un riesgo para la población.

Cada una de estas fuentes tiene a su vez diferentes impactos que fueron analizados con anterioridad y que se recogen también en la tabla resumen que se adjunta.

11.2.2. Riesgos relacionados con las fuentes de energía fósiles[177]

La utilización del carbón para la generación de electricidad tiene asociado los siguientes riesgos en las diferentes etapas de su ciclo de vida:

[176] Cuestiones sobre la energía, Foro de la Industria Nuclear Española, Enero 2007.
[177] Cuestiones sobre la energía, Foro de la Industria Nuclear Española, Enero 2007.

- En la minería produce un elevado riesgo de enfermedades respiratorias, además de enfermedades de tipo nervioso, por inhalación de polvo procedente del proceso de extracción.

- En la construcción de centrales no son superiores a los normales de otras actividades industriales. En ningún caso son catastróficos.

En la operación:

- Trabajadores: riesgo a la salud relacionado con enfermedades respiratorias por la existencia de polvo de carbón y posible pérdida de la capacidad auditiva por el ruido.

- A la población: están relacionados a las emisiones que se han señalado anteriormente provenientes de su combustión que ocasionan enfermedades respiratorias, toxicidad y cáncer.

En el caso de las centrales eléctricas a petróleo, los riesgos derivados de su extracción, transporte, el refino y su empleo en la central son fundamentalmente: fuego en los yacimientos, emisión de gases orgánicos durante el refinamiento que producen riesgo de cáncer, daños elevados por fuego en las refinerías, así como durante su transporte. El riesgo para el público, está directamente vinculado con los productos de su combustión que tienen un importante aporte al efecto invernadero como se han señalado antes.

Para el caso de una central a gas, los riesgos para la salud son menores que para el carbón y el petróleo, por cuanto las emisiones de NO_x producen un gran riesgo de enfermedades respiratorias. Durante el almacenamiento y transporte del gas, como consecuencia de la presencia de gases licuados inflamables en la composición del gas natural, existe riesgo de fuego y explosión.

11.2.3. Riesgos relacionados con la energía nuclear[178]

A diferencia de las formas convencionales de producir energía quemando combustible fósil, el impacto de una central nuclear y el riesgo que representa su instalación y operación, tanto para el medioambiente como para las personas, son mínimos. Esto se puede afirmar considerando que la técnica desarrollada para provocar la reacción nuclear se basa en la comprensión de las leyes naturales que la determinan y el manejo armónico de estas. Quemar combustible, sea este petróleo, gas o carbón, implica una intervención anómala en

[178] Energía Nucleoeléctrica y Desarrollo Sostenible, Viena, OIEA, Febrero 2008.

los procesos naturales de la tierra y de ahí sus efectos indeseados. Ese camino ha conducido a una crisis en que los recursos naturales están agotándose y el clima cambia producto de la elevación de la temperatura del planeta, causada por esta práctica. En cambio, la fisión nuclear consiste en reproducir bajo circunstancias controladas un fenómeno que se produce de manera natural y a cada instante en el universo, siendo incluso parte de la vida.

La alta complejidad que implica la ciencia nuclear se ha visto compensada con el veloz avance de la industria que pone en práctica sus principios, para aprovechar la ilimitada fuente de energía que produce la fisión del átomo. Lamentablemente, en sus albores, la ciencia nuclear se utilizó prioritariamente para fines bélicos y la humanidad comprendió con el horror de miles de víctimas inocentes que la energía atómica podía ser también algo muy malo.

Lo cierto es que la industria nuclear con fines pacíficos siguió también su propio camino, aprovechando el conocimiento y la experiencia tanto de aquellos episodios de violencia como de los descubrimientos que los hicieron posibles. Tampoco ha estado exenta de accidentes graves y lamentables, como lo fueron las fallas de las centrales Three Mile Island, en Estados Unidos, y Chernobyl, en Ucrania. Sin embargo, hay que destacar que ambos eventos fueron causados por errores humanos, relacionados con una operación negligente, más que a un repentino suceso inevitable relacionado con el reactor, el combustible o alguno de los sistemas diseñados para producir la reacción de fisión.

Al decir que el impacto y el riesgo indeseado de la energía nuclear son mínimos, en ninguna caso se desconoce que entraña un cierto peligro. Ciertamente, la estadística demuestra que sólo han ocurrido dos accidentes severos, mencionados con anterioridad, con consecuencias para el medioambiente y la población en comparación con cinco décadas de beneficio, al punto de que casi una quinta parte de la electricidad del mundo se produce en centrales nucleares.

Actualmente la ciencia y la tecnología desarrollada por la industria nuclear garantizan que este riesgo está bajo control. La existencia de una central nuclear, tanto para la población como para sus trabajadores que operan en las áreas directamente relacionadas con elementos altamente radioactivos, representa un nivel de riesgo significativamente inferior al de otras actividades. Este conocimiento técnico ha sido desarrollado en un contexto de colaboración internacional ejemplar, lo que también implica que actualmente exista un marco normativo y legal completo que garantizan excelentes niveles de bajo impacto y riesgo en el uso la energía nuclear.

Los sistemas de seguridad de las centrales nucleares modernas representan el máximo logro de la ciencia y la tecnología, proceso que va perfeccionándose día a día, incorporando

constantemente nuevas mejoras a la industria. Esto implica por ejemplo, la capacidad de hacer frente con éxito no solo a eventuales fallas de la central, sino también a eventos externos como la actividad sísmica o ataques terroristas.

A pesar de esto, es inexacto afirmar que el peligro de la energía nuclear ha sido suprimido por la ciencia. Pero resulta indudable que se trata de un campo que se ha desarrollado intensamente, precisamente por la necesidad de brindar una seguridad que reduzca el impacto y minimice el riesgo, lo cual ha dado origen no solo a avances tecnológicos significativos, sino también a una cultura de la seguridad total.

A diferencia de las tecnologías que se han analizado anteriormente, en el caso de las centrales nucleares el público conoce medianamente los beneficios que brinda la núcleo-electricidad y la valoración que realiza de sus riesgos está muy lejana a la realidad. Los riesgos en este tipo de instalación son:

- La ocurrencia de un accidente severo que pueden afectar a la integridad del recinto de contención del reactor nuclear y dar lugar a la emisión de productos de fisión al medioambiente.

- Los desechos radioactivos que se generan durante las diferentes etapas del ciclo de vida de este tipo de central.

- La proliferación de las armas nucleares, seguridad física de las instalaciones nucleares y el terrorismo.

11.2.3.1. Riesgo de un accidente nuclear severo¡Error! Marcador no definido.

La percepción de riesgo que tiene la población sobre este tema está fundamentada marcada por los accidentes ocurridos en las centrales nucleares Three Mile Island y Chernobyl, unido a una inadecuada utilización de los medios de información para reflejar cualquier tipo de accidente o incidente de esta industria y la falta de una correcta y conveniente educación sobre el tema.

En el capítulo 3 de este estudio, sobre la seguridad nuclear, se analizaron los diferentes aspectos vinculados los accidentes, su probabilidad de ocurrencia y las medidas para mitigar sus consecuencias. En particular, se señaló que los accidentes severos son aquellos que pueden afectar a la integridad del recinto de contención del reactor nuclear y dar lugar a la emisión de productos de fisión al medioambiente. Pese a que la probabilidad de ocurrencia

de este evento es muy baja: 10^{-6} (un accidente de este tipo en un millón de años); la industria nuclear, centros de investigación y otras instituciones vienen desarrollando esfuerzos de investigación e ingenieriles dirigidos a evitar y controlar estas situaciones.

La seguridad nuclear es uno de elementos primordiales en el desarrollo de esta tecnología se basa en diseñar, construir y operar las centrales nucleares para lograr de forma segura la producción de energía eléctrica, sin que ello suponga un riesgo superior al tolerable para la población, el medioambiente y para los trabajadores de la central y que se encuentra debidamente regulado en las leyes, reglamentos y normas que constituyen la base del desarrollo de esta industria en cada uno de los países que desarrollan o desarrollarán la generación eléctrica de origen nuclear. Esto significa que:

- En funcionamiento normal, las dosis recibidas por los trabajadores y el público en general, deben ser tan bajas como sea posible y siempre inferiores a los límites fijados por las normas las que a su vez, se basa en los índices de radiación normales a los cuales el ser humano se somete a diario por la naturaleza.

- En caso de un accidente hipotético, los sistemas de seguridad existentes deben evitar que la fuga radioactiva afecte a la población.

De acuerdo con el criterio de un diseño seguro, la central debe mantener una seguridad intrínseca y una seguridad incorporada[179]. La primera se refiere a la imposibilidad de que se desencadene una reacción nuclear de fisión incontrolada y la segunda a los elementos añadidos que permiten la regulación, control y detención inmediata de esa reacción nuclear. La seguridad intrínseca surge de las características físicas del comportamiento del combustible nuclear, mientras que la seguridad funcional nace de la ingeniería desarrollada y de su diseño con medidas tales como la presencia en el núcleo de elementos de control accionados por el operador o por mecanismos automáticos, así como las barreras de protección interpuestas.

A pesar de todas estas medidas, nunca se podrá eliminar completamente la posibilidad de fallo, como en cualquier actividad humana pero, su probabilidad será muy pequeña como ya se indicó. Adicionalmente, se introducen en el proyecto soluciones técnicas que impiden que fenómenos externos naturales (sismos, tsunamis, inundaciones) esperables en la zona de emplazamiento provoquen un accidente, ya sea severo o no, en este tipo de instalación.

Las exigencias sobre el proyecto son debidamente controladas por la Autoridad Reguladora Nacional, encargada por el Estado para esta función. Este control se realiza a través del

[179] Ver capítulo 3 de este estudio: Seguridad Nuclear.

proceso de licenciamiento de las diferentes etapas del proyecto de una central nuclear: selección del emplazamiento, construcción y montaje, ajuste y puesta en marcha, operación y desmantelamiento. Esta Autoridad tiene todas las atribuciones para detener los trabajos en cualquier de estas etapas hasta tanto no se restablezcan las condiciones de seguridad exigidas y acordadas en las condiciones de vigencia de cada una de las licencias otorgadas por esta Autoridad.

El estudio más completo realizado hasta el presente para evaluar las externalidades de la generación eléctrica, proyecto ExternE[180], indica que, en operación normal, ***la generación nuclear es más benigna que cualquiera de las otras fósiles***.

El detrimento en la salud (medido en pérdida de años de vida) de la generación nuclear es aproximadamente 100 veces menor que para carbón o petróleo y cinco veces menor que para el gas[181].

Desde el punto de vista de la Protección Civil, el estudio científico de los riesgos es de interés porque constituye la base para determinar las fuentes u orígenes de los riesgos (peligros), sus causas, los elementos vulnerables o expuestos y las consecuencias que pueden tener sobre las personas y los bienes. Los resultados de los estudios sirven después para tomar decisiones acerca de las medidas de prevención para eliminar o reducir los riesgos, en situación de normalidad o sobre las medidas de protección, para evitar o reducir las consecuencias (daños), en caso de que ocurra un accidente o catástrofe.

A partir de los análisis anteriores se elaboran los diferentes planes de emergencia tanto dentro de la central como para la población, de manera que en la ocurrencia de un accidente de esta magnitud el riesgo a la población y el medioambiente sea el mínimo.

Además, se debe indicar que únicamente el juicio detallado del diseño y de la experiencia operativa de estas instalaciones permite, hasta donde es posible, una cuantificación, compleja, del riesgo que encierre información significativa desde el punto de vista técnico, social y legal. El resto de las apreciaciones son eso, percepciones del riesgo, que, aunque merecen respeto, no responden ya a consideraciones técnicas, sino a valoraciones personales, juicios subjetivos, y a veces a miedos y al desconocimiento.

---

180 External Costs. Research Results on Socio-Environmental Damages due the Electricity and Transport, Directorate General for Research, European Commission, EUR-20198, 2003.

181 Severe Accidents in the Energy Sector First Edition, Paul Scherrer Institute, PSI Bericht Nr. 98-16, Nov. 1998.

11.2.3.2. Desechos radioactivos¡Error! Marcador no definido.

Al igual que en el caso anterior, el riesgo aquí está asociado con un accidente que provoque el escape al medioambiente de radiaciones y sustancias radioactivas que pudieran dañar al medioambiente y la salud de las personas durante su manipulación, transportación o su almacenamiento definitivo.

La disposición final de los desechos es un aspecto en el que la producción de energía nucleoeléctrica está, por lo general, mejor situada que los otros tipos de generación. A diferencia de los desechos sólidos y tóxicos producidos por las otras cadenas de combustible, los desechos nucleares son de pequeño volumen, están bien confinados y son objeto de controles muy estrictos. En la mayoría de los países, el costo de contención, almacenamiento y disposición final de los desechos nucleares está incluido en el precio de la electricidad. Estos costos internalizados incluyen los costos de gestión de los desechos, disposición final en repositorios a largo plazo y clausura de la central al final de su vida útil.

Además es necesario señalar que para todo el proceso de gestión de los desechos radioactivos existen rigurosas normas y procedimientos regulan todas las actividades de manera que para que ocurran situaciones como las mencionadas. Por ello, la ocurrencia de cualquier accidente en estas actividades solo puede ocurrir cuando se incumplen las medidas de seguridad establecidas para el manejo de los desechos radioactivos y como en el caso de las centrales nucleares la probabilidad de ocurrencia es baja. Un análisis más detallado se presentó en el sección 4.6 del capítulo 4.

11.2.3.3. No proliferación y seguridad física¡Error! Marcador no definido.

El proceso de enriquecimiento y la producción de plutonio en los reactores nucleares son los que provocan preocupación internacional, ya que pueden tener aplicaciones militares[182].

El principal instrumento internacional para garantizar la no proliferación es el Tratado de No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) de 1968 y ratificado por 187 estados que se complementan con diferentes tratados de carácter regional como es el caso del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina y el Caribe conocido como el "Tratado de Tlatelolco".

A través de las Salvaguardias se previene la proliferación de las armas nucleares. Estas salvaguardias son implementadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica y es el

[182] Ver capítulo 5: Autoridad Reguladora Nuclear.

mecanismo por el cual se garantiza que un Estado de cumplimiento a su compromiso de no utilizar las materiales fisionables especiales y otros, así como servicios, equipos e instalaciones nucleares para el desarrollo de armas u otros dispositivos nucleares con fines militares. El alcance de dicho compromiso se determina en las obligaciones que asume el Estado en cada Tratado y en el tipo de acuerdo de salvaguardias que el Estado haya concertado con el OIEA. Por medio de diferentes instrumentos internacionales, regionales y bilaterales, los Estados se comprometen a adoptar la aplicación de salvaguardias a los materiales y actividades nucleares sujetos a su jurisdicción o control.

Entre los requisitos más importantes que un Estado debe asumir aparecen: la necesidad de designar a la autoridad responsable por establecer y mantener el Sistema de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares sujetos a Salvaguardias, el envío de registros y reportes de las actividades de contabilidad y control desde y para el OIEA, la revisión y verificación del diseño de la instalación, realizar inspecciones y encargarse del mantenimiento de registros.

También es esencial reconocer que la energía nucleoeléctrica no es el factor que más contribuye a aumentar los riesgos de proliferación, y que detener la expansión de ese tipo de energía, o disminuir su producción, no supondría una reducción apreciable de esos riesgos.

11.2.3.4. Riesgos de la actividad sísmica¡Error! Marcador no definido.

Las centrales nucleares se diseñan para soportar la ocurrencia de terremotos y de otros eventos externos de manera tal de no poner en riesgo la seguridad de la central. Por ejemplo, en Francia las centrales nucleares, para cada emplazamiento, se diseñan para que resistan un terremoto dos veces más fuerte que el calculado con una probabilidad de ocurren de 1 en 1000 años. Se estima, que el 20% de las centrales nucleares en operación se encuentran ubicadas en áreas de actividad sísmica significante.[183]

Debido a la frecuencia y magnitud de terremotos en Japón, una atención particular se brinda a la atención de los problemas sísmicos durante la selección del emplazamiento de la central nuclear, así como en su diseño y construcción. El diseño sísmico de estas centrales nucleares está basado en criterios muchos más severos que aquellos que se aplican a instalaciones industriales convencionales. Las centrales nucleares se construyen además en terrenos rocosos duros (no sedimentos) con el objetivo de minimizar el movimiento sísmico sobre las estructuras. Sensores sísmicos son fijados en las estructuras de la central nuclear.

[183] Nuclear Power Plants and Earthquakes, World Nuclear Association, January 2009.

Si los registros de estos sensores exceden los límites establecidos por diseño, la central nuclear se apaga automáticamente sin emisiones de sustancias radioactivas al medioambiente. Para la puesta en operación de la central nuclear después de un evento de este tipo se puede requerir de una inspección al equipamiento. En particular, después de un sismo la vasija del reactor, las barras de regulación y los sistemas de control, así como el recinto de contención no deben haber sufridos daños en absoluto.

La eficiencia de las estrictas normas internacionales bajo las que se construyen las centrales fue puesta a prueba en el gran terremoto de Kobe, ocurrido el año 1995. Ese día alrededor de 6.000 japoneses murieron, las vías quedaron destrozadas y exactamente 6.513 edificios fueron destruidos y otras innumerables construcciones quedaron con daños severos o menores. Debido a lo pequeño del territorio, ***9 centrales nucleares se vieron directamente afectadas***, en especial la que se encuentra instalada en las cercanías del puerto de Kobe; ***pero debido a las extremas medidas de seguridad con que se edifican, estas no sufrieron daño alguno***. Además, como medida de protección, ***sus reactores pararon automáticamente y no sufrieron daño alguno***.

Otro gran examen ocurrió el año 2007, cuando el territorio japonés se vio nuevamente azotado por un gran movimiento telúrico, evento que provocó la fisura en una de las piscinas que acumulan el agua radiactiva, mucho se especulo sobre este daño, llegándose a la conclusión, luego de acabados análisis, que la radiación emanada hacia el exterior fue 100 veces menor a la que recibe una persona cuando se somete a una radiografía. ***Sus 7 reactores, 3 en operación y 4 en mantención no sufrieron daño alguno***.

Debido a la alta actividad símica de Chile, el factor de riesgo más importante en el análisis que se haga de la opción nuclear lo constituye indudablemente la probabilidad de ocurrencia de un sismo de alta intensidad, como el ocurrido en Valdivia en 1960 (9,5 grados en la escala de Richter).

Si bien la naturaleza es impredecible y en ocasiones altamente destructora, los ejemplos mundiales expuestos y los elevados estándares de seguridad internacional en el diseño, construcción y operación de centrales ***permiten el desarrollo seguro y confiable de esta tecnología en países sísmicos como es el caso de Chile***.

11.2.3.5. Riesgo asociado al terrorismo

A raíz de los atentados perpetrados en septiembre de 2001 en los Estados Unidos de América, así como de los cometidos posteriormente en España, Indonesia y la Federación de Rusia y en otras partes, se ha llevado a cabo una revaluación radical de los riesgos de ataques terroristas en todos los puntos sensibles: centros urbanos, complejos industriales,

puertos, refinerías de petróleo, medios de transporte aéreo y ferroviario e instalaciones nucleares. Se ha hecho aun más hincapié en las medidas de seguridad física nuclear – la capacidad de controlar y proteger los materiales nucleares y otros materiales radiactivos, las instalaciones nucleares y las actividades de transporte – contra las actividades terroristas y otras actividades ilegales.[184]

Imagen 11.1 *– Montaje fotográfico de un posible impacto de avión sobre una central nuclear.*

En las evaluaciones de la seguridad física en las centrales nucleoeléctricas se señala que esas centrales y otras instalaciones del ciclo del combustible están diseñadas para soportar desastres naturales, como terremotos, inundaciones, tornados y huracanes. Los ataques terroristas en los que se producen explosiones e incendios podrían asimilarse a esos acontecimientos externos por sus consecuencias en materia de daños y emisión de radiactividad.[185] Debido a su diseño, el edificio de contención y otros edificios de las centrales son obstáculos más firmes que podrían resistir mejor los ataques.

En una evaluación realizada por el Instituto de Investigaciones de la Energía Eléctrica, de los Estados Unidos, sobre las consecuencias del impacto de un avión en una central nuclear de este país, se determinó que los edificios de contención no se verían dañados por un ataque

[184] Seguridad física nuclear, Informe anual para 2004, OIEA, Viena.

[185] The Future of Nuclear Power, MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), Cambridge, Massachusetts (EE.UU), 2003.

de esa naturaleza.[186] La División Principal de Seguridad de las Instalaciones Nucleares, de Suiza, estudió un escenario similar e informó en 2003 de que el peligro de emisión de radiación sería bajo en las centrales antiguas y extremadamente bajo en las nuevas.[187]

Imagen 11.2 *– Secuencia gráfica de la prueba de imapcto sobre una estructura similar a la del recinto de contencion de una central nuclear de un avion de combate Phantom F-4.*

Asimismo, la solidez de las instalaciones nucleares, los dispositivos especiales de seguridad para impedir todo acceso no autorizado o forzado, y los requisitos reglamentarios con arreglo a los cuales las centrales deben estar diseñadas para soportar "amenazas bases de diseño" contra actos de sabotaje y robos, indican que es muy improbable que un ataque perpetrado desde el interior de una central provoque una emisión significativa de radiactividad. En un ejercicio de seguridad realizado en 2002 por el Center for Strategic International Studies de los Estados Unidos se llegó a la conclusión de que las centrales

186 Reactor Security: Multiple Safety Systems and Physical Construction, NEI (Instituto de Energía Nuclear), 2006, Washington, DC.

187 Safety of Nuclear Power Reactors, Nuclear Issues Briefing Paper 14, UIC (Uranium Information Centre), 2006, Melbourne (Australia).

nucleoeléctricas son blancos muchísimo menos atractivos para los terroristas debido a las estrictas medidas de seguridad a que están sujetas estas instalaciones.[188, 189]

11.2.3.6. Otros riesgos¡Error! Marcador no definido.

11.2.3.6.1. Riesgo económico como consecuencia del retardo en la ejecución del proyecto

El tiempo de la construcción de una central nuclear normalmente se toma como la duración entre el vertido del primer hormigón y hasta su conexión a la red de transmisión de energía (ver figura 11.1). Por ello, antes de que la central entre en operación, una cantidad sustancial de tiempo y esfuerzo está involucrado en el proceso de planificación y gestión de las aprobaciones y autorizaciones correspondientes necesarias para este tipo de proyecto. Por ello, los costos de los intereses durante el proceso de construcción pueden ser un elemento importante del costo total de capital (costo inversión), pero estará en dependencia de la relación entre los intereses y el período de construcción. Para un periodo de construcción de 5 años, la Universidad de Chicago[190] ha realizado un cálculo donde se muestra que el pago de los intereses durante la construcción puede ser apropiadamente un 30% de los gastos totales. Esto aumentaría a un 40% si el plazo se extendiera a 7 años. De aquí la importancia que tiene el completar en los plazos fijados la construcción y puesta en operación de la central.

El principal riesgo entonces, está vinculado a todo el proceso de licenciamiento a que está sometido un proyecto de este tipo, así como la llegada en tiempo de los suministros necesarios para su ejecución. Desde luego este riesgo está también vinculado con la política y la regulación vigente en el país. Por ello es que el Estado aquí juega un papel importante con el objetivo de garantizar que los plazos establecidos en cada una de las etapas sea cumplidos en tiempo y forma, sin perjuicio de la seguridad de la instalación, de manera de minimizar este riesgo. De ahí la importancia de contar con una Autoridad Reguladora

188 Site Security: Armed Guards, Physical Barriers, Detection Systems, NEI(Instituto de Energía Nuclear), 2006, Washington, DC.

189 Security Effectiveness: Independent Studies and Drills, NEI (Instituto de Energía Nuclear), 2006, Washington, DC.

190 The Economic Future of Nuclear Power, University of Chicago, 2004, http://www.anl.gov/Special_Reports/.

debidamente preparada para estas actividades, de manera que no sea un riesgo innecesario para los inversionistas.

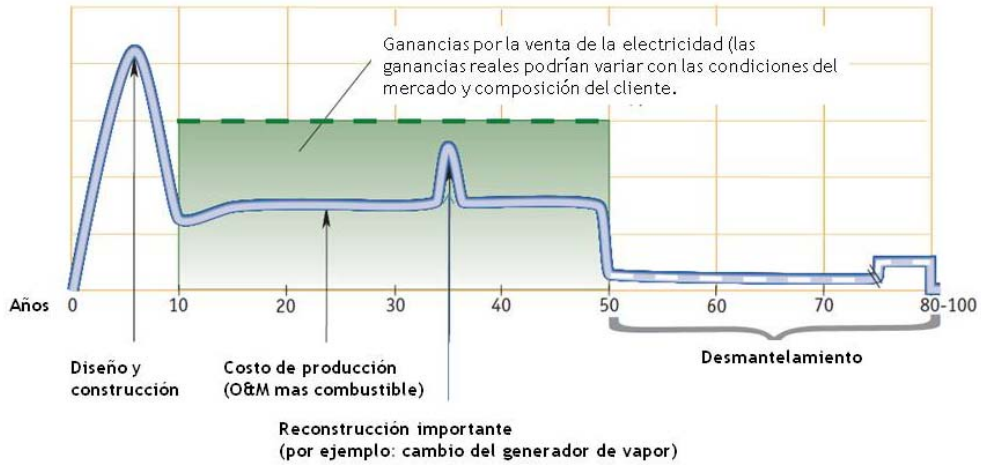


***Figura 11.1** – Flujo de caja típico para un proyecto de una central nuclear.*

Un ejemplo característico de este de riesgo es el del Programa de Generación Nuclear de Filipinas[191,192]:

- En 1973 optó por recurrir a la energía atómica para contrarrestar los efectos de la crisis del petróleo y encargó a la empresa estadounidense Westinghouse la construcción de una central nuclear en la provincia de Bataan, unos cien kilómetros al norte de la capital.

- Los planes iniciales eran dotar al reactor de agua ligera con una potencia de 621 MW.

- Las obras comenzaron en 1976 y concluyeron en 1984, aunque estuvieron suspendidas durante dos años, después de que en 1979 una investigación oficial revelara más de 4.000 fallos en el panel de control central y otros sistemas.

- Westinghouse tuvo que reemplazarlos por modelos más modernos, pues la mayoría databan de principios de los años 70, y el coste total se elevó por encima de los 2.300 millones de dólares.

[191] http://www.diariodenavarra.es/20080820/culturaysociedad/
[192] http://latercera.com/contenido/659_77405_9.shtml

- En 1986 se decidió clausurar la planta por temor a que el emplazamiento de la misma en una zona propensa a los terremotos y cercana al volcán Pinatubo pudiera provocar en Filipinas un nuevo desastre como el que ocurrió aquel año en Chernobyl.

- En 2007, el Gobierno filipino anunció el pago del último plazo de la deuda que mantenía con Westinghouse, cuyos intereses ascendían a más de 150.000 dólares al día.

11.2.3.6.2. Riesgos comerciales

Estos riesgos existen para todo tipo de central en diferente magnitud. Por ejemplo, ***la variación del precio del combustible, la fluctuación del precio de la energía eléctrica***, etc. El ***riesgo por el precio del combustible es considerablemente más bajo en el caso de las centrales nucleares que para las centrales eléctricas convencionales,*** ya que su participación en la conformación del costo de la generación es menor como se vio en el capitulo relacionado con los aspectos económicos.

Así entonces, un fuerte aumento del precio del combustible nuclear no influye fuertemente en los ingresos de la empresa. En condiciones de economía de libre mercado, la industria nuclear funciona bajo las regulaciones del operador del sistema energético, el que dependen de los costos de producción del sistema, con esto las empresas con costos más bajos gozan de prioridad. Es decir, las empresas operadoras de centrales nucleares poseen un grado suficiente de control sobre los precios de la energía eléctrica, pues los costos marginales contribuyen al mantenimiento de la competitividad de estas con respecto al de su competencia que son las centrales a combustibles fósiles. El aumento del factor de planta alcanzado por las centrales nucleares se refleja también en el precio y el costo general del proyecto.

Este riesgo puede ser mitigado si se toman las medidas correctas durante todo el proceso de negociación para la construcción y operación de la central nuclear con las autoridades públicas y privadas relacionadas con el sector eléctrico.

Otra de los eventos que está vinculado con este riesgo, está relacionado con la posibilidad que la Autoridad Reguladora durante las inspecciones que realiza en la etapa de operación de la planta detecta desviaciones de las condiciones en que se extendió la licencia de operación de la central. En algunos casos, esto puede llevar a la detención del bloque generador en cuestión provocando las perdidas correspondientes fijadas por la generación total de electricidad dejada de producir el precio de venta del KWh fijado con la autoridad

correspondiente. Algo similar ocurre también, cuando un incidente provoca la detención del bloque. Estos dos eventos que pueden provocar este riesgo son minimizados por la entidad explotadora de la central a través de sus inspecciones, la aplicación de la cultura de la seguridad y la preparación de los recursos humanos vinculados a la operación y el mantenimiento de la central.

11.2.3.6.3. Riesgo de la política vigente y de regulación¡Error! Marcador no definido.

Debido a la larga duración de un proyecto de este tipo el establecimiento de una política definida y a largo plazo por parte del Estado en torno a la opción nuclear para generar energía eléctrica, permitirá la estabilidad a largo plazo de este tipo de opción una vez decidido a su favor. Para ello, es necesario el establecimiento de la regulación correspondiente en esta actividad de acuerdo con la experiencia internacional tanto de la industria nuclear como de organizaciones tales como el OIEA y la Autoridades Reguladoras Nacionales de los diferentes países con centrales nucleares en operación.

En la actualidad hay países con centrales nucleares que por distintos motivos, tomaron la decisión de deshacerse gradualmente o por completo de la energía nuclear (Alemania e Italia). Esto provocó que se tomaran una serie de medidas a nivel de gobiernos para acortar la vida útil de las centrales nucleares respecto al señalado en el proyecto original. En algunos casos, las empresas a pesar de esta acción, tuvieron que seguir realizando pagos, especialmente relacionados con los cumplimientos adquiridos antes de esa decisión política y cumplir además con exigencias adicionales de seguridad exigidas por parte de los órganos de control (también motivadas por decisiones políticas). Estos ejemplos, demuestran ***la importancia que tiene la situación política de cada país y la necesidad de existencia de regímenes estables y predecibles para el control y licenciamiento del desarrollo de la energía nuclear***.

11.2.3.6.4. Riesgo por el agotamiento de las reservas de los diferentes tipos de combustibles¡Error! Marcador no definido.

Este riesgo es particularmente importante en el caso de los ***combustibles fósiles ya que se estima que sus reservas se agotaran en un futuro mediato*** aunque la precisión del momento es muy difícil de determinar por la participación de diferentes intereses

vinculados con el tema. Según el OIEA y la información brindada en este estudio, la existencia del recurso nuclear se presenta en la siguiente Tabla 11.3[193].

Tabla 11.3 *– Años de generación mundial de energía nucleoeléctrica al nivel de la generación del 2004.*

Reactor/ciclo de combustible	Años de generación mundial de energía nucleoeléctrica al nivel de 2004 con los recursos convencionales conocidos	Años de generación mundial de energía nucleoeléctrica al nivel de 2004 con todos los recursos convencionales (conocidos y estimados)
Ciclo del combustible abierto con reactores de agua ligera	85	270
Ciclo puro del combustible de reactores rápidos con reciclado	500 – 600	1600 - 1900

En la Tabla 11.3 se resumen los datos relativos a la duración prevista de los recursos convencionales de uranio si se mantienen las tasas de quemado actuales. Las cifras que figuran en la primera fila se basan en el supuesto de que los futuros reactores nucleares de potencia utilizarán la misma tecnología que los reactores actuales, que sólo pueden utilizar menos del 2% de la energía contenida en el uranio natural. En la fila de abajo se supone que, conforme aumente el precio del uranio, el combustible usado acabará siendo reciclado – mediante tecnologías que ya existen – para extraer mucha más energía. Dado que todas las cifras indicadas en los cuadros se basan en las tasas actuales de consumo de uranio, todas se reducirán proporcionalmente en caso de expansión de la producción de energía nucleoeléctrica.

Si se toman en cuenta los recursos de uranio no convencionales, aumentan considerablemente todas las cifras de la tabla 11.3. Estos recursos abarcan cerca de 22 MtU presentes en yacimientos de fosfato y hasta 4 000 Mt U contenidas en el agua de mar. Ya se dispone de tecnología adecuada para recuperar el uranio de los fosfatos, aunque los costos

[193] Uranium 2005: Resources, Production and Demand, OCDE, París.

son relativamente altos: 60–100 dólares de los Estados Unidos por Kg U. La tecnología para extraer los grandes recursos de uranio diluidos en el agua de mar sólo ha sido demostrada en laboratorio; los costos de extracción con esta tecnología se estiman actualmente en unos 300 dólares de los Estados Unidos por Kg U.[194] Un eventual incremento en los precios de los recursos de uranio tendría efectos limitados en los costos de producción de energía nucleoeléctrica porque el combustible nuclear sólo representa una parte muy pequeña de estos costos (el 2%), mientras que en el caso de la generación de electricidad con combustibles fósiles la incidencia de los precios del combustible es mucho mayor (del 40 al 70%).

La Tabla 11.3 se refiere únicamente al uranio. Los reactores alimentados con torio se desarrollaron en los decenios de 1960 y 1970, pero nunca llegaron a tener una presencia significativa en el mercado. La India, que cuenta con muchos más recursos de torio que de uranio, es un país que continúa desarrollando el ciclo del combustible del torio. Este mineral es tres veces más abundante en la corteza terrestre que el uranio. Las estimaciones sobre las reservas de torio conocidas y las reservas potenciales totalizan más de 4,5 Mt, pero se considera que estas estimaciones son conservadoras, teniendo en cuenta que no abarcan todas las regiones del mundo y que una demanda históricamente débil ha limitado la prospección del torio.

Por todo lo anterior, se puede apreciar que las ***reservas existentes de uranio garantizan la generación de energía eléctrica de origen nuclear y que la introducción del torio como combustible hará aun más favorables este escenario***.

11.2.3.6.5. Marco Regulatorio

Un riesgo asociado a la opción nuclear del cual se ha hablado anteriormente y está relacionado con la necesidad de ***contar con un marco regulatorio*** conveniente elaborado para el desarrollo de un programa de este tipo. Este marco regulatorio debe estar preparado con tiempo de antelación con el objetivo de que el inversionistas conozca las exigencias concretas del país en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. Un retraso en este aspecto implicaría diferir el desarrollo de un programa de este tipo hasta que se cuente con el mismo, aun teniendo necesidad de contar con energía y existiendo inversores interesados. Esto está directamente vinculado con las actividades de la Autoridad

[194] Informe Mundial de Energía: la energía y el reto de la sostenibilidad, PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), 2000, Nueva York.

Reguladora Nacional y la necesidad de contar con ella con tiempo de anticipación para que no retrase el desarrollo de un programa de este tipo.

11.2.3.6.6. La no existencia de los recursos humanos calificados

Las características propias de las ciencias y técnicas nucleares requieren que los proyectistas, constructores y explotadores hayan de tener conocimientos específicos muy avanzados, que sólo se pueden adquirir a través de la formación y el entrenamiento cuidadoso. De hecho, el personal de explotación de las centrales nucleares requiere un entrenamiento específico y permanente. De acuerdo con la práctica internacional y los requerimientos de la Autoridad Reguladora Nuclear, los operadores y supervisores de una central requieren de una licencia o permiso de trabajo que otorga esta institución. Por ello, el no contar con los recursos humanos adecuados para el desarrollo de un programa de este tipo tiene un determinado riesgo.

Sin embargo, la preparación de los recursos humanos necesarios para un programa de este tipo se puede realizar a partir de las diferentes carreras universitarias que tenga una vinculación con las diferentes actividades del programa nuclear. En este sentido la necesidad más urgente de preparación de los recursos humanos está directamente vinculada con la actividad reguladora ya que esta entidad es la primera que debe estar preparada para poder evaluar proyectos de este tipo de manera que le permita al Estado tomar una decisión en este sentido, así como permitir la evaluación de cualquier propuesta de inversión que se haga para la generación de electricidad de origen nuclear.

11.2.3.6.7. Riesgo geopolítico asociado a la ubicación de los recursos energéticos

Los yacimientos de los combustibles fósiles se encuentran localizados en países con cierta inestabilidad política, lo que han provocado problemas tanto en su suministro como en sus precios. Esto evidentemente repercute negativamente en las economías de los países importadores de estos combustibles y desde luego con la influencia también en el consumidor final de esta energía y por ende la sociedad.

En el caso del uranio, esta situación no se da. Es decir, los yacimientos se encuentran situados en países con estabilidad política lo que constituye una garantía de suministro para este tipo de combustible. A mayor detalle, el hecho de que el combustible nuclear es varios órdenes de magnitud menor en volumen que cualquier otra alternativa energética su

almacenamiento es factible ya que ocupa un volumen manejable permite que este sea almacenado en las centrales de nucleares de manera eficiente y en almacenes relativamente pequeños.

Dado lo anterior, se hace posible que las centrales nucleares puedan contar con existencia de este combustible para periodos largos, 3 - 5 años, en dependencia del tamaño de la piscina de almacenamiento, la estrategia para la campaña[195] del combustible seleccionada y el propio contrato de suministro del combustible.

11.2.3.6.8. Riesgo de suspensión del suministro de combustible nuclear a la central nuclear

Este es un riesgo que puede considerarse cuando se hace una evaluación de riesgo. Sin embargo, hay que señalar:

- **Primero:** las centrales nucleares después de su primera carga de combustible (unas 70 toneladas de uranio ligeramente enriquecido), recarga cada año un tercio de este volumen (unas 27 toneladas). En general, las centrales nucleares disponen de almacenes debidamente diseñados que les permite disponer de combustible para unas 5 recargas (recargas que se efectúan cada 12, 18 o 24 meses, de acuerdo con las características del diseño y las estrategias que se asuman al respecto). Con estas reservas en la central se asegura cierta independencia del suministro y la posibilidad, ante una interrupción del mismo, de buscar una solución sin afectar la generación de energía.

- **Segundo:** A través del contrato de suministro de este combustible entre el operador de la central y el productor del combustible se puede garantizar su suministro estable.

En la actualidad no se ha reportado ningún caso en que los operadores de centrales nucleares no hayan recibido el suministro comprometido de este combustible y hayan tenido que detener la generación eléctrica por este motivo.

[195] La estrategia de campaña del combustible consiste en la forma que el operador de la planta repondrá en la zona activa del reactor el combustible que se quema durante la campaña que puede durar entre 12 a 18 meses.

Conclusiones

De forma similar al análisis del impacto ambiental, las diferentes fuentes de energía también poseen un riesgo asociado con su utilización en la generación eléctrica. Aunque en la actualidad los movimientos ambientalistas atacan fuerte a la generación eléctrica con combustibles fósiles, la convivencia de la población con este tipo de generación ha sido ampliamente asimilada.

Sin embargo, en el caso de la generación de energía eléctrica de origen nuclear, la aceptación del riesgo por parte de la población aun no es un hecho totalmente consolidado. De ahí, que existan diferentes posiciones a nivel de sociedad en cuanto a este tipo de generación. Por ello, en algunos países como España por ejemplo se debate fuertemente en el cierre de sus instalaciones nucleares a pesar de tener más de 30 años de experiencia en la operación de las mismas y aporte que realizan al total de la generación de este país. Sin embargo, en otro como Italia, se comienza hablar de incluir en la matriz energética este tipo de generación.

Se puede establecer que estas posiciones encontradas dentro de la sociedad no es más que un reflejo de la falta de conocimiento de esta tecnología a pesar de existir desde hace más de medio siglo adicionándole además el impacto negativo que tuvo para la población el accidente de central nuclear de Chernobyl.

Por ello, la industria nuclear ha incluido dentro sus actividades la transparencia en las actividades que desarrolla a través de información inmediata y confiable de la misma y el acercamiento a la sociedad para esclarecer cualquier estado de opinión que exista en torno a la industria. Por otro lado, desarrolla también nuevos tipos de reactores donde el riesgo por accidente, los desechos y la proliferación de los materiales nucleares sean mucho menores.

Bibliografía

11.1.- Risks and Benefits of Nuclear Energy, NEA No. 6242, OECD, 2007.

11.2.- L. A. Sachenko, Las bases metodológicas de la administración del riesgo en la energía nuclear, Autoreferat de la tesis a Candidato a Doctor en Ciencias Económicas, 2006.

11.3.- Journal of the American Medical Association 244, II: 1126-112 y Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina.

11.4.- Programa Nuclear Filipino:
http://www.diarionavarra.es/20080820/cultura y sociedad
http://latercera.com/contenido/659_77405_9.shtml

11.5.- Cuestiones sobre la energía, Foro de la Industria Nuclear Española, Enero 2007.

11.6.- Energía Nucleoeléctrica y Desarrollo Sostenible, Viena, OIEA, Febrero 2008.

11.7.- External Costs. Research Results on Socio-Environmental Damages due the Electricity and Transport, Directorate General for Research, European Commission, EUR-20198, 2003.

11.8.- Ball, Roberts & Simpson, Research Report #20, Centre for Environmental & Risk Management, University of East Anglia, 1994; Hirschberg et al, Paul Scherrer Institut, 1996; in: IAEA, Sustainable Development and Nuclear Power, 1997; Severe Accidents in the Energy Sector, Paul Scherrer Institut, 2001).

11.9.- Severe Accidents in the Energy Sector First Edition, Paul Scherrer Institute, PSI Bericht Nr. 98-16, Nov. 1998.

11.10.- Nuclear Power Plants and Earthquakes, World Nuclear Asocciation, January 2009.

11.11.- The Future of Nuclear Energy in an Era of Environmental Crisis and Terrorist Challenge, World Association, Noviembre 2001.

11.12.- Analysis of Nuclear Power Plants Shows Aircraft Crash Would Not Breach Structures Housing Reactor Fuel, Nuclear Energy Institute, For Immediate Release, 23 Decembre 2002.

11.13.- Reactor Security: Multiple Safety Systems and Physical Construction, NEI (Instituto de Energía Nuclear), 2006, Washington, DC.

11.14.- Safety of Nuclear Power Reactors, Nuclear Issues Briefing Paper 14, UIC (Uranium Information Centre), 2006, Melbourne (Australia).

11.15.- Site Security: Armed Guards, Physical Barriers, Detection Systems, NEI (Instituto de Energía Nuclear), 2006, Washington, DC.

11.16.- Security Effectiveness: Independent Studies and Drills, NEI (Instituto de Energía Nuclear), 2006, Washington, DC.

11.17.- Uranium 2005: Resources, Production and Demand, OCDE, París.

11.18.- Informe Mundial de Energía: la energía y el reto de la sostenibilidad, PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), 2000, Nueva York.

11.19.- The Economic Future of Nuclear Power, University of Chicago, 2004, http://www.anl.gov/Special_Reports.

Parte III

Conclusiones y Tabla Resumen

A partir de los elementos brindados en el desarrollo del estudio en esta parte se presentan las principales conclusiones a que llega el mismo, así como una tabla resumen de doble entrada con las distintas fuentes de generación por un lado y el listado de los impactos y riesgos por el otro de manera de concentrar la información que se ha ido presentando a lo largo del estudio, la que se anexa al documento.

"Cada país debe hacer sus propias opciones energéticas: no hay una medida que valga para todos. Pero para los países interesados en incorporar la energía nucleoeléctrica en sus estrategias de desarrollo sostenible es importante mantener abierta y accesible esa opción energética".

Mohamed ElBaradei[196]

[196] Director General del OIEA y Premio Nobel de la Paz 2005 por sus esfuerzos en prevenir que la energía nuclear sea utilizada con propósitos militares y por asegurar su uso pacífico de manera segura.

Conclusiones Generales

A lo largo de este estudio se ha reiterado una idea que no por conocida tiene menos relevancia: el futuro energético, no solo de Chile, sino también del mundo, depende de que seamos capaces de asegurar el bienestar social con un suministro adecuado y oportuno para satisfacer una demanda creciente y, al mismo tiempo, tomando las medidas necesarias para frenar el calentamiento global y preservar los recursos naturales.

Sobre este desafío se viene haciendo gran hincapié en el último tiempo, pero aún falta algo para que el mecanismo apropiado comience a funcionar. Líderes de opinión y representantes de sectores tan diversos como la industria, la política, la economía y la ecología coinciden en un mensaje de alerta que también es un llamado a la acción. Por eso, la verdad sea dicha: cada día que pasa es un día perdido que costará demasiado caro en el futuro, si no se realizan avances concretos hacia esta meta.

En este contexto sin duda que la ciencia y la tecnología tendrán mucho que aportar. Es más, su voz será determinante a la hora de evaluar las mejores opciones para resolver nuestros requerimientos de energía. Este hecho adquiere una especial relevancia tratándose de analizar la opción nuclear como una alternativa viable, pues no solo se trata de una de las más importantes fuentes de energía en la naturaleza, sino también del punto más alto alcanzado hasta hoy por la investigación y el desarrollo tecnológico de nuestra civilización, que ha puesto al hombre en condiciones de desentrañar los misterios de la materia y la energía para servirse de ellos, en armonía con sus leyes.

El presente estudio ha tenido como objetivo contribuir a esto de manera objetiva, aportando antecedentes relacionados con el Impacto y los Riesgos de la Núcleo-Electricidad.

En este sentido, surgen de este estudio de inmediato dos importantes conclusiones respecto al Impacto y el Riesgo de la Energía Nuclear:

- **Alta potencia con mínimo impacto:** Indudablemente la principal fortaleza de la energía nuclear, en comparación con la generada con otras fuentes renovables, es su mínimo impacto ambiental y prácticamente nula emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera durante el proceso de generación de altas potencias

eléctricas, algo que, salvo la hidroeléctrica, ninguna otra tecnología puede ofrecer en la actualidad.

- **Riesgo bajo control:** Indudablemente el lado débil de la tecnología nuclear es el riesgo de que eventualmente ocurra un accidente que implique la emisión de radioactividad al ambiente. Sin embargo, con los actuales sistemas de seguridad y desarrollo de la tecnología este riesgo está controlado y se encuentra por debajo de los márgenes fijados por las normas internacionales establecidas para esta actividad. Incluso al comparar el índice de riesgo de esta tecnología con otras, aparece como uno de los más bajos de la industria moderna, en cualquier ámbito. Es importante comprender lo que realmente significa el riesgo, para diferenciarlo de las percepciones de "una actividad riesgosa", como en este caso, asumiendo que hay factores relacionados con la comunicación, la educación y la información muy importantes a considerar para saber diferenciar los verdaderos riesgos de los prejuicios y las falsas creencias.

Una vez dejando sentado ambos puntos es posible una revisión de los demás factores relacionados con la tecnología nuclear expuestos en este estudio, los cuales aportan argumentos para una evaluación profunda.

En cuanto a los riesgos que representa la alta actividad sísmica en Chile, no obstante serán necesarios estudios especialmente enfocados en este aspecto, a la luz de la experiencia internacional en la materia y los antecedentes aportados por la industria nuclear, se puede concluir que es enteramente posible construir una central nuclear en un país sísmico como en el nuestro.

La experiencia internacional, especialmente en países como Japón, ha demostrado que las centrales resisten bien los sismos que han ocurrido los últimos 50 años. El tema se ha solucionado desde la perspectiva estructural de la planta y de la tecnología del reactor propiamente tal. En Chile, por ejemplo, el reactor nuclear experimental de La Reina se detiene automáticamente en fracción de segundos si el movimiento telúrico sobrepasa los 5 grados, y no se trata precisamente de la tecnología más moderna de la actualidad.

Chile tiene casi 40 años de manejo seguro de dos reactores nucleares experimentales, dedicados a la investigación y aplicación de las técnicas nucleares, lo que le da un reconocimiento internacional en la materia, así como un grado de madurez muy importante en el manejo seguro de centrales nucleares de potencia. Por lo tanto, en Chile existe una base para pensar en el desarrollo de un programa nuclear para la generación de electricidad a corto plazo.

Junto con ello y no menos importante es el interés del Estado de Chile por estudiar seriamente la opción nuclear, teniendo claro que se trata del primer paso necesario para comenzar a evaluarla.

Los avances en esta materia logrados bajo su administración implican desde modificaciones tanto a la institucionalidad relacionada con el tema, como a la voluntad política y los aspectos legales implicados, lo cual representa sin dudas un legado de gran valor y utilidad futura.

De acuerdo a esto, después de considerar todos los antecedentes integrados en el presente informe y tomando en consideración lo señalador por el Director General del OIEA (ver inicio): **"…** de que para los países interesados en incorporar la energía nucleoeléctrica en sus estrategias de desarrollo sostenible es importante ***mantener abierta y accesible esa opción energética*…"**, es posible ***recomendar 3 aspectos*** que permitirán alcanzar este objetivo:

1. Definir y perfeccionar la Autoridad Regulatoria y el marco legal para el uso de la energía nuclear, en todos sus aspectos. Esto permitirá estar preparado no solo para enfrentar las propuestas inversionistas en esta actividad sino también, estar preparado para las posibles incidencias de programas similares que puedan desarrollarse en países cercanos de la región, que también analizan en estos momentos esta opción.

2. Desarrollar las actividades tendientes a iniciar un proceso de calificación y preparación de los recursos humanos de manera de poder afrontar las necesidades que se originen de la propuesta formulada en el primer punto, así como de poder contar con personal con una alta calificación para el desarrollo de esta actividad.

3. Realizar una evaluación preliminar de la posible ubicación de emplazamientos de centrales nucleares. Este aspecto también fue recomendado por la Comisión creada por el Gobierno de Chile. Una evaluación de este tipo permitirá disponer de información anticipada que le permita al inversionista fijar la ubicación definitiva de la central y además en caso de que esto no se concrete el país dispondrá de información importante de los lugares seleccionados que puede ser utilizada con otros destinos.

En términos generales y a partir de las consideraciones presentadas en este estudio, las ***conclusiones generales*** que se pueden obtener son las siguientes:

1.- No hay ninguna fuente de energía que pueda considerarse libre de impactos y riesgos para el medio ambiente, por lo que para la diversificación de la matriz energética de cualquier país hay que tener en cuenta los impactos y riesgos que tiene cada tecnología en su ciclo completo.

2.- El desarrollo de la sociedad y por tanto su bienestar exige de un crecimiento del consumo de energía y este incremento debe ser suplido por aquellas fuentes de energía que no pongan en riesgo el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

3.- La energía nuclear es una opción importante a considerar por cuanto permite garantizar este crecimiento ya que al no emitir gases efecto invernadero durante la operación de la central contribuye positivamente a frenar el calentamiento global del planeta y la contaminación del medioambiente.

4.- Las energías renovables no pueden satisfacer ni la demanda actual ni la perspectiva ya que en las condiciones actuales de la tecnología, estas ocuparían un área demasiado grande que incluso entraría a competir con la producción agropecuaria para la alimentación humana. La solución no es Nuclear vs. Renovables, sino Nuclear y Renovable.

5.- Un país que decida desarrollar un programa nuclear debe contar con una Autoridad Reguladora Nacional que sea independiente de los demás actores del sector energético. Su existencia es necesaria para dejar siempre abierta esta opción de generación de electricidad.

6.- Las plantas nucleares liberan cantidades insignificantes de radiación sin que por ello sea dañino para las personas o el ambiente. Estas emisiones son menores que la radiación ambiental media y están siempre por debajo de las establecidas en las normas nacionales e internacionales.

7.- Las centrales nucleares en operación emiten cantidades insignificantes de gases efecto invernadero y de material particulado por lo tanto no afectan al calentamiento global ni ensucian el ambiente. No obstante, el resto de las actividades de la cadena de la industria nuclear sí las producen, pero en su conjunto son inferiores a la generación eléctrica de origen fósil.

8.- Las reservas probadas de uranio a nivel mundial, con la tecnología actual basada en Uranio-235, son suficientes para abastecer el consumo durante 100 años. Existen otras tecnologías en desarrollo que producen energía a partir del Uranio-

238 y el Torio-232, más abundantes que el Uranio-235, por lo que podría sostenerse la producción núcleo-eléctrica actual por 600 años.

9.- La seguridad nuclear está desarrollada a un nivel sin paragón posible con otros sistemas similares de la industria. En el proceso se involucran, entre otros, de manera simultánea e integrada las instalaciones nucleares, la industria, los centros de investigación, los organismos reguladores, expertos en todo tipo de disciplinas, los gobiernos de cada país y las organizaciones internacionales. Este tratamiento conjunto ofrece una solidez y un desarrollo compensado de carácter singular que se hace patente en el alto nivel de excelencia alcanzado por las centrales nucleares.

10.- Las centrales nucleares se caracterizan por ser intensivas en capital de manera que la inversión inicial supone aproximadamente dos terceras partes de los costes de generación, el combustible supone el 15% y la operación y mantenimiento el 20% restante. Esta estructura de costes da una gran estabilidad a los mismos, al no depender de manera importante de los precios de las materias primas (la materia prima uranio supone un 3%). En estas condiciones, y con periodos largos de operación, el KWh de origen nuclear es competitivo con el de otras fuentes. Contribuye a la estabilidad de los precios de la energía convirtiéndose en una barrera contra las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles, ayudando a mantener una estabilidad a largo plazo del precio de la electricidad.

11.- La disposición final de los desechos es un aspecto en el que la producción de energía nucleoeléctrica está, por lo general, mejor situada que los otros tipos de generación. A diferencia de los desechos sólidos y tóxicos producidos en la combustión de las fuentes de energía fósiles, los desechos nucleares son de pequeño volumen, están bien confinados y son objeto de controles muy estrictos.

12.- Los recursos humanos necesarios para el desarrollo de un Programa Núcleo-eléctrico son un factor fundamental para alcanzar la ejecución exitosa del mismo y obtener un reconocimiento de la gestión núcleo-eléctrica a nivel internacional y en el propio país. Está demostrado que los procesos tecnológicos asociados a esta industria impactan en el ámbito de conocimientos y se difunden en toda la estructura productiva del país al elevar el nivel de eficiencia global de la sociedad y por ello sus ventajas comparativas para insertarse ventajosamente en el actual sistema globalizado.

13.- La aceptación pública y política de la núcleoelectricidad depende de un conjunto de factores, entre los cuales el manejo adecuado y equilibrado de la información

respecto a esta tecnología tiene una importancia fundamental. En este punto es recomendable una política responsable enfocada a elaborar y dar a conocer toda la información disponible en torno a la opción nuclear pero, no planteada en forma de confrontación, sino de esclarecimiento de la opinión ciudadana.

14.- No existe peligro real de robo de material nuclear para usos bélicos o terrorista. El temor que existe sobre este aspecto de la industria nuclear es infundado. El Organismo Internacional de Energía Atómica es el encargado del control de la energía nuclear, fiscaliza y previene estos riesgos y los mecanismos establecidos hasta la fecha han demostrado gran eficacia.

15.- En un país sísmico como Chile es enteramente posible construir una central nuclear. La experiencia internacional, especialmente en países como Japón, ha demostrado que las centrales resisten bien los sismos que han ocurrido los últimos 50 años. El tema se ha solucionado desde la perspectiva estructural de la planta y de la tecnología del reactor propiamente tal, y por lo tanto representa un tema que requiere mayor estudio, no de factibilidad, sino de conveniencia ante los potenciales costos de un diseño sísmico exigente. En Chile, por ejemplo, el reactor nuclear experimental de La Reina se detiene automáticamente en fracción de segundos si el movimiento telúrico sobrepasa los 5 grados, y no se trata precisamente de la tecnología más moderna de la actualidad.

Relación de participantes en la elaboración del Estudio

1.-	Victor Filichkin	Presidente - CNE Chile S. A.
2.-	Anatole Gubin	Director General - CNE Chile S. A.
3.-	Sergei Pegov	Ingeniero Nuclear – ROSENERGOATOM
4.-	Manuel Cadavid	Licenciado en Física – CNE Chile S. A.
5.-	Vasily Golovanov	Ingeniero Físico Nuclear – ROSENERGOATOM
6.-	Viktor Yurmanov	Ingeniero Físico Nuclear – ROSENERGOATOM
7.-	Vladimir Konbir	Ingeniero Físico Nuclear – Consultor
8.-	Mikhail Gordeev	Abogado – ROSENERGOATOM
9.-	Vladimir Asmolov	Ingeniero Físico Nuclear – ROSENERGOATOM
10.-	Sergeu Jarlampiev	Ingeniero Físico Nuclear – ROSENERGOATOM
11.-	Alexei Filichkin	Ingeniero Comercial – INTERMASH
12.-	Daniel Trujeillo	Periodista – CNE Chile S. A.

Geología
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

BORRADOR INFORME FINAL
(BIF)

CARACTERIZACIÓN DE RIESGOS NATURALES PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA NÚCLEO-ELÉCTRICO EN CHILE

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

Departamento de Geología, Universidad de Chile

Diciembre 2009

INDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes generales del proyecto	1
1.2	Antecedentes específicos	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivos generales	3
1.3.1	Objetivos específicos	3
1.4	Metodología general del estudio	4
1.4.1	Caracterización de peligros geológicos a nivel nacional y restricciones geográficas	5
1.4.2	Requerimientos y acciones necesarias para la evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos	8
1.4.3	Brechas nacionales en materia de riesgos naturales	8
1.4.4	Evaluación del costo adicional para zonas de alta sismicidad	8
1.5	Equipo ejecutor	10
1.6	Informes y plazos de entrega	13
1.7	Documentos generales	13

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS Y PELIGROS NATURALES A NIVEL NACIONAL

2.1	Condiciones geológicas	1
2.1.1	Introducción	1
2.1.2	Condiciones litológicas y relación con riesgos geológicos	2
2.1.3	Características y segmentación morfotectónica del Orógeno Andino	6
2.1.4	Geología de Chile y regiones potenciales para el emplazamiento de centrales núcleo eléctricas	11
2.2	Peligro volcánico	1
2.2.1	Introducción	1
2.2.2	Antecedentes de los centros volcánicos en Chile	3
2.2.3	Principales centros volcánicos en Chile y sus productos	8
2.2.4	Principales erupciones holocenas e históricas en	15

	Chile, radios de influencia de procesos volcánicos y restricciones genéricas	
2.3	Peligro sísmico y tsunamis	1
2.3.1	La Sismicidad en Chile: Contexto Geodinámico	1
2.3.1.1	Algunos conceptos previos	1
2.3.1.2	Análisis sísmico del Segmento (a)	6
2.3.1.3	Análisis sísmico del Segmento (b)	16
2.3.1.4	El Desafío de Identificación y caracterización del riesgo sísmico para el desarrollo de un programa nuclear en Chile	19
2.3.1.5	Metodologías para la determinación del Peligro Sísmico en Chile	24
2.3.2	Fallas potencialmente activas	29
2.3.2.1	Metodología	29
2.3.2.2	Recomendaciones IAEA - Safety standards series N° NS-G-3.3	31
2.3.2.3	Eventos sobre centrales nucleares en el mundo	38
2.3.2.4	Antecedentes en Chile	39
2.3.2.5	Características morfotectónicas generales de Chile	42
2.3.2.6	Fallas activas en Chile	43
2.3.2.7	Restricciones genéricas para el emplazamiento de centrales nucleares	52
2.3.3	Tsunamis	54
2.3.3.1	Introducción	54
2.3.3.2	Descripción y características de los tsunamis	55
2.3.3.3	Generación de tsunamis	57
2.3.3.4	Conclusiones	64
2.4.	Peligro de Remoción en Masa y otros Peligros Geotécnicos	1
2.4.1	Introducción	1
2.4.2	Metodología	1
2.4.3	Tipos de remociones en masa y otros peligros geotécnicos en Chile	2
2.4.4	Catálogo de peligros geotécnicos	3
2.4.5	Factores condicionantes y desencadenantes	8
2.4.6	Eventos sobre centrales nucleares en el mundo	13
2.4.7	Restricciones y estudios para análisis de emplazamiento	13

2.5	Peligro de inundaciones	1
2.5.1	Generalidades	1
2.5.2	Inundaciones Fluviales	1
2.5.3	Metodología de estimación de peligro de inundaciones fluviales	3
2.5.4	Discusión	8
2.6	Restricciones territoriales vinculadas a la energía nuclear	1
2.6.1.	Restricciones generales para centrales núcleo-eléctricas	7

CAPÍTULO 3: REQUERIMIENTOS BÁSICOS EN RELACIÓN A RIESGOS NATURALES PARA PROYECTOS NÚCLEO-ELÉCTRICOS

3.1	Requerimientos y acciones necesarias para la evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos	1
3.1.1	Evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos	1
3.2	Brechas nacionales en materia de riesgos naturales	2
3.3	Desafíos y riesgos de la energía nuclear de potencia en el contexto de los riesgos naturales	8

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DEL COSTO ADICIONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR NUCLEAR EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD

4.1	Introducción	1
4.2	Experiencia sísmica de reactores	1
4.2.1	Experiencia en Japón	1
4.2.2	Experiencia en Estados Unidos	3
4.2.3	Experiencia en Taiwan	3
4.2.4	Experiencia en Armenia	3
4.3	Costo actual de reactores de potencia en USA	4
4.4	Informe de Dames and Moore, 1978	4
4.5	Estimación del costo adicional desglosado	5

CAPÍTULO 5: REFERENCIAS

Referencias Capítulo 1 1
Referencias Capítulo 2 1
Referencias Capítulo 3 15

ANEXOS

Anexo 1 Remociones en Masa
Anexo 2 Refuerzos realizados a la Central Diablo Canyon, California, Estados Unidos
Anexo 3 Apéndice 10 del borrador del informe de Dames and Moore, 1978

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

El Gobierno actual ha tomado el compromiso de no tomar decisiones con respecto a la iniciación de un desarrollo núcleo-eléctrico en el país, pero ha tenido la voluntad de iniciar estudios que reúnan los antecedentes necesarios para que el próximo gobierno pueda tomar decisiones bien fundadas acerca de la conveniencia o no de incluir a largo plazo la opción nuclear dentro de la matriz energética del país. Esta estrategia está en línea con las "mejores prácticas" recomendadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA (International Atomic Energy Agency, IAEA) para que un país pueda decidir si la opción núcleo- eléctrica es o no viable en la matriz energética del país.

Es así como en el año 2007, el Gobierno conformó un Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad cuyo producto (Septiembre 2007) fue el informe "La opción Núcleo-Eléctrica en Chile". En él se establecen tres criterios para evaluar la incorporación de la energía núcleo-eléctrica en el país:

a) Chile debe mantener abiertas todas las opciones energéticas. La energía nuclear no es una opción a descartar, y podría cooperar a la seguridad del suministro eléctrico;

b) La energía nuclear es una opción confiable, por los niveles de seguridad que ha alcanzado su industria, pero exige preocupación, disciplina y rigor permanentes; y

c) La experiencia internacional muestra a la energía nuclear como una opción competitiva, especialmente ante los actuales precios de los combustibles fósiles en los mercados internacionales.

Entre las medidas recomendadas por el Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad para avanzar en la discusión del problema, se destaca la realización de estudios en los ámbitos institucionales, económicos, ambientales y territoriales, salud, recursos humanos, y opinión pública, entre otros.

En el marco de lo anterior, la Comisión Nacional de Energía (CNE) llamó a licitación pública para la elaboración del estudio "Caracterización de riesgos naturales para el desarrollo de un programa núcleo-eléctrico en Chile".

1.2 Antecedentes Específicos

La experiencia internacional sobre la seguridad del sitio de emplazamiento de centrales núcleo-eléctricas está concentrada en la International Atomic Energy Agency, IAEA (Organización Internacional de Energía Atómica, OIEA) de la Naciones Unidas. Por eso es que las guías y códigos del IAEA sobre emplazamiento de centrales nucleares son la mejor referencia y fuente de información sobre esa materia.

La selección del sitio de emplazamiento para una central núcleo-eléctrica se realiza en tres fases:

Fase 1: Barrido Regional e identificación de sitios potenciales
Fase 2: Barrido de sitios potenciales y selección de candidatos
Fase 3: Comparación y ranking de sitios candidatos (3 a 5 sitios)

El estudio propuesto se refiere a la Fase 1 Barrido Regional en cuanto a características geológicas y peligros geológicos. Este se basa exclusivamente en la "*información ya procesada e inmediatamente disponible*".

El Departamento de Geología de la Universidad de Chile se adjudicó la propuesta para el desarrollo del estudio. El presente documento corresponde al Informe Final del proyecto.

1.3 Objetivos

En el marco del proyecto y de acuerdo a la propuesta, se realizaron reuniones y presentaciones de los resultados al mandante.

De acuerdo a las bases, en la reunión de Inicio de Proyecto se revisó la propuesta y se establecieron los objetivos generales y los alcances del estudio. Los objetivos y alcances que se presentan a continuación son el resultado de las reuniones, realizadas los días 22 de septiembre y 20 de noviembre, y no corresponden exactamente a los presentados en la propuesta.

1.3.1 Objetivos Generales

Estos consisten en dar una opinión, al estado actual del conocimiento, acerca de las condiciones de riesgos naturales existentes en Chile y en caracterizar los parámetros y requerimientos generales en la perspectiva de riesgos naturales para la instalación de centrales nucleares, considerando experiencias internacionales y normas globales en la temática.

Además, con el fin de contar con una estimación preliminar de la ruta crítica a la construcción de centrales nucleares en Chile, se estimarán los tiempos necesarios para la búsqueda y selección de áreas específicas de posible emplazamiento de centrales.

En un contexto genérico y con el fin de sensibilizar a la opinión pública, se entregará información de centrales nucleares existentes en regiones de similares características (respecto de riesgos naturales) a las zonas seleccionadas en Chile para una evaluación posterior.

El análisis de riesgos se realizará a nivel nacional, utilizando como mapa base el mapa geológico de Chile escala 1: 1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003). La escala de trabajo es 1: 6.000.000.

De acuerdo a la propuesta, el estudio considera solamente aspectos potenciales de amenazas o peligros naturales en Chile, excluyendo los climáticos, que puedan tener incidencia en la estimación de los riegos naturales que afecten la infraestructura requerida para la generación de núcleo-electricidad.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificación y caracterización de los principales riesgos naturales para el desarrollo de un programa nuclear en Chile.

Levantamiento y análisis de los requerimientos y acciones necesarias para el desarrollo de conocimiento que permita la evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos.

Síntesis de visión experta acerca de las brechas nacionales en materia de riesgos naturales que pudiesen retrasar la entrada de un proyecto nuclear en Chile, preparando y proponiendo una estrategia de reducción de dichas brechas.

Diagnóstico de los desafíos y riesgos de la energía nuclear de potencia en el contexto de los riesgos naturales, que alimente de antecedentes una discusión nacional educada sobre energía nuclear.

Evaluación del incremento de costos de construcción de un reactor nuclear, con el fin de garantizar una respuesta apropiada ante los principales riesgos naturales identificados.

1.4 Metodología general del estudio

Uno de los objetivos de este estudio es identificar y caracterizar, al estado actual y con los antecedentes existentes, los principales riesgos naturales para el desarrollo de un programa nuclear en Chile.

El concepto de riesgo geológico involucra diferentes aspectos, relacionados tanto con la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno geológico catastrófico, como sismos, erupciones volcánicas, remociones en masa o inundaciones; como con el impacto o daño que éste puede generar sobre la población, la infraestructura o la economía.

El Peligro (Amenaza) Geológico se define como una condición o proceso geológico potencialmente catastrófico. La peligrosidad se puede expresar de manera cualitativa mediante un análisis experto, basado en la observación y evaluación de los antecedentes que permitan calificar el nivel de peligro.

El Riesgo, que corresponde al grado de pérdida esperado debido a un fenómeno peligroso particular, es igual al producto de la amenaza (en términos de probabilidad de ocurrencia) por la vulnerabilidad.

De acuerdo a lo expuesto, este estudio se orienta a identificar y definir los peligros geológicos que podrían crear situaciones de riesgo para el desarrollo de un programa nuclear en Chile.

Los peligros geológicos que son abordados en este estudio son:

- Peligro sísmico y tsunamis
- Peligro volcánico
- Peligro de remociones en masa y peligros geotécnicos
- Peligro de inundaciones

A continuación se indica la metodología seguida para alcanzar los objetivos propuestos.

1.4.1 Caracterización de peligros geológicos a nivel nacional y restricciones geográficas

Geología

Se realizó una revisión de la geología a escala 1: 1.000.000 (Sernageomin, 2003) para definir las características geológicas y tectónicas generales del territorio chileno. La información geológica se simplificó a una clasificación general de rocas según tipo y ordenados por edad, con lo cual se generó un mapa geológico integrado a escala 1:6.000.000.

Si bien no existen limitaciones específicas a tipos de roca sobre los cuales es factible el emplazamiento de centrales núcleo-eléctricas, los tipos litológicos si tienen incidencia sobre otras características de riesgo geológico, como por ejemplo sísmico y de remociones en masa. En esta perspectiva existen litologías que son potencialmente mejores que otras para dichos efectos, con lo cual, en un rápido barrido de tipos litológicos y edad de rocas en Chile es factible una primera estimación de zonas adecuadas o no adecuadas. En este contexto se analizaron los criterios y normas internacionales que pueden tener relación con litología y geología regional, con el fin de definir los aspectos geológicos que se requiere caracterizar para un proyecto nuclear.

Peligro de inundaciones

A la fecha no existe para Chile una base de datos unificada que de cuenta del peligro de inundaciones a una escala de trabajo adecuada para hacer un barrido inicial de sitios a nivel nacional. Es conveniente destacar que el peligro de inundaciones hidrometeorológicas asociado a un área dada depende de las condiciones meteorológicas, hidrológicas y morfológicas del lugar en cuestión. Así, el riesgo de inundación se expresa típicamente en la forma de mapas, que indican las zonas afectadas por niveles de agua peraltados en condiciones de crecida, asociados a distintas probabilidades de ocurrencia. La creación de estos mapas requiere la estimación de caudales máximos instantáneos asociados a probabilidades de ocurrencia, y la estimación de niveles de agua resultantes a partir de estos caudales. Como se verá más adelante, cuantificar el peligro de inundaciones asociado a una central núcleo-eléctrica requiere no sólo verificación de los pasos anteriores, sino también el análisis de combinaciones de eventos que pudieran agravar el efecto de una crecida.
En este estudio se revisó la información hidrometeorológica existente a nivel nacional, de manera de actualizar los análisis regionales de crecidas que se

han propuesto para Chile. Se revisaron distintas fuentes de información y se adoptó una regionalización del país en cuanto a eventos hidrometeorológicos extremos, que toma en cuenta las características probabilísticas de estos eventos desde el punto de vista de los caudales máximos posibles. La cuantificación de riesgo por inundaciones deberá llevarse a cabo a nivel de sitio, cuando se llegue a dicha etapa del análisis.

Sismotectónica y Peligro Sísmico

En este estudio se caracterizan los terremotos, registrados en Chile, indicando la fecha, ubicación y magnitud. A partir de los antecedentes y catálogos disponibles en las dependencias del Servicio Sismológico de la Universidad de Chile se condensa la información de los terremotos más grandes que han afectado el territorio así como se estiman zonas de mayor productividad sísmica.

Además, se identificaron, a partir de los antecedentes existentes, las estructuras geológicas potencialmente sismogénicas existentes a lo largo del país. Adicionalmente, se buscó en la literatura internacional, información de terremotos, que han afectado instalaciones nucleares. En esos casos se describe el evento sísmico y el impacto sobre la infraestructura. Finalmente, se revisó y consideró las normas internacionales referentes a la ubicación de instalaciones nucleares en las cercanías de fallas activas. Esta información se incorporó en las recomendaciones para los estudios de peligro y riesgo que serían necesarios realizar, como parte de los futuros estudios de emplazamiento

Peligro de tsunamis

Se entregan los antecedentes de los tsunamis más importantes que han afectado las costas del país desde la perspectiva del registro histórico como también de los hallazgos pre-históricos recientes en la zona del terremoto de 1960. Al igual que en el caso de otros peligros naturales, se revisan y consideran las normas internacionales referentes al impacto de tsunamis en instalaciones nucleares.

Remociones en Masa y otros Peligros Geotécnicos

El estudio comprendió una revisión de potenciales peligros calificados como "geotécnicos" por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), y que incluyen inestabilidad de laderas (remociones en masa, como deslizamientos y avalanchas de roca y nieve), subsidencia y licuefacción de suelos. Estos fenómenos y sus efectos son en general de extensión reducida y carácter

local, por lo que en este estudio, de escala nacional, solo se abordaron de manera global, con énfasis en los eventos de mayor volumen, que corresponden a algunos tipos de remoción en masa.

Se describieron y analizaron los distintos tipos de remoción en masa reconocidos en Chile, los principales factores que condicionan su ocurrencia y su relación con otros riesgos geológicos, como tormentas y terremotos. Se analizó, a partir de la literatura, el historial de eventos de remoción en masa a lo largo del territorio nacional, su ubicación y sus niveles de intensidad y recurrencia. También recopiló información sobre la ocurrencia de otros peligros geotécnicos ocurridos en el territorio nacional, describiendo sus principales características.

Con estos resultados, se sistematizaron las restricciones físicas genéricas que implican los fenómenos de remoción en masa y los otros peligros geotécnicos para el emplazamiento de una central nuclear de potencia, y se hacen recomendaciones sobre los estudios de peligro y riesgo que serían necesarios realizar a escalas de mayor detalle, como parte de los futuros estudios de emplazamiento.

Peligro volcánico

A partir de un análisis de la bibliografía nacional e internacional disponible y relevante a la escala del territorio en su conjunto (1:1.000.000), se describió la ubicación geográfica de los volcanes activos en Chile continental, junto con la de sus productos pleistocenos- holocenos. Además, se destacan las principales erupciones ocurridas durante el Holoceno (últimos 11.500 años) en Chile, según el *Smithsonian's Global Volcanism Program (2009).* En función de esto se determinaron los radios de influencia de los procesos volcánicos obteniendo las restricciones genéricas de primer orden que asociadas a los procesos volcánicos para el eventual emplazamiento de una central nuclear de potencia en el territorio nacional.

Restricciones geográficas

Desde el punto de vista del territorio a nivel nacional no existe una orgánica que señale explícitamente restricciones de uso del suelo asociado a la energía nuclear. Sin embargo, en Chile existen cuerpos normativos que implican restricciones de usos. Ejemplos de ello lo constituyen las territorios administrados por CONADI (Comisión Nacional de Desarrollo Indígena) y SNASPE (Sistema Nacional de áreas protegidas del Estado), o bien ciertas normativa ambientales y de construcción. En este estudio se identifican

algunas de las áreas de restricción, como por ejemplo las áreas SNASPE, centros urbanos y aeródromos, entre otras.

1.4.2 Requerimientos y acciones necesarias para la evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos

En este punto se analiza el estado (existencia y necesidades) de información científica y técnica relevante para la evaluación general (no específica a un sitio) de riesgos naturales en Chile.

Se revisaron las normas internacionales, en particular los documentos publicados por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), y la normativa ambiental chilena. A partir de ellos se definió la información científica y técnica, en el ámbito de los peligros estudiados, necesaria para el desarrollo de un proyecto núcleo–eléctrico en Chile. Posteriormente, en base al análisis de los diferentes estudios de peligros geológicos realizados en el país, se evaluó la capacidad de realizar el tipo de estudio requerido.

1.4.3 Brechas nacionales en materia de riesgos naturales

Se analizaron e identificaron las brechas nacionales a la luz de las nuevas tecnologías y conocimiento utilizado para estudios de amenazas geológicas en la perspectiva de emplazamientos núcleo-eléctricos.

Con el fin de definir si existe capacidad científica de especialistas en el área de riesgos geológicos en Chile para desarrollar un programa nuclear, se analizaron primero los desafíos científicos y de ingeniería que involucra un proyecto de este tipo.

Con esta información se analizaron las capacidades nacionales para enfrentar los estudios necesarios para el desarrollo de un programa nuclear en Chile.

1.4.4 Evaluación del costo adicional para la construcción de un reactor nuclear en zonas de alta sismicidad

De los peligros naturales que se identifican, algunos se podrán evitar por la ubicación territorial de la planta: avalanchas, volcanismo, inundaciones, tsunamis. La calidad del suelo del lugar será también un factor relevante a considerar en la localización de la planta, pues de ella dependen el costo de las fundaciones y la intensidad y característica de los movimientos sísmicos que podrán ocurrir en el lugar, debido a la amplificación local del movimiento sísmico.

El peligro que siempre estará presente será el movimiento del suelo debido a futuros terremotos, imposibles de evitar por las características geotectónicas adversas de la mayor parte del territorio nacional. Para evaluar el incremento del costo por la acción de los futuros movimientos sísmicos de gran magnitud que afectarán al lugar de emplazamiento de una central de potencia nuclear, se tienen en cuenta los siguientes documentos orientadores de la International Atomic Energy Agency (IAEA):

- NS-G-1.3 Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants, No., IAEA, Vienna (2002).
- No. NS-G-1.2 Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants.
- N° NS-G-1.5 External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants.
- N° NS-G-1.6 Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants.
- N° NS-G-1.12 Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants.
- N° NS-G-3.3 Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants.
- N° NS-G-3.6 Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants.

Y el requerimiento:

- N° NS-R-3 Site Evaluation for Nuclear Installations.

Se considera el impacto aproximado en el costo del reactor de las solicitaciones sísmicas en las diferentes instalaciones y equipos, teniendo en cuenta los niveles de seguridad requeridos para cada componente en relación al riesgo inherente de fuga de material radioactivo. Algunas de las componentes de incremento de costo por el peligro sísmico a considerar son:

Costo de estudios del lugar de emplazamiento: exploración, estudios de especialidades, sondajes, etc.

- Mayores costos en la protección de obras civiles.
- Costos asociados al diseño de los equipos: núcleo del reactor, intercambiadores de calor, condensadores, tomas de agua, turbinas, generadores, transformadores, líneas de transmisión, tuberías, circuitos eléctricos, etc.
- Ensayos dinámicos de equipos.
- Sistemas de anclaje y sujeción.

- Instrumentación sísmica.
- Sistemas de control y apagado.
- Homologación internacional.

Esta evaluación se hará dentro de un margen de error de aproximadamente 25%.

En consecuencia, la mayor sensibilidad en el costo de una futura planta nucleoeléctrica en Chile estará controlada por la seguridad sísmica, motivo por el cual se analizará el efecto de la demanda sísmica y del tsunami.

Para el efecto del terremoto se hará adicionalmente a la propuesta un análisis de la sensibilidad del costo en función de la aceleración máxima estimada del suelo.

Los resultados obtenidos se validaran con casos reales;

- Planta Nuclear Diablo Canyon, California, EE.UU.
- Planta Nuclear Kashiwazaki-Kariwa, Japón.

1.5 Equipo Ejecutor

El estudio fue ejecutado por geólogos, geofísicos, ingenieros civiles estructurales e hidráulicos, y geógrafos, todos académicos de los departamentos de Geología, Ingeniería Civil, Geofísica y Geografía de la Universidad de Chile. El equipo fue apoyado por profesionales geólogos.

Los cargos y funciones de cada integrante del equipo son presentados en el cuadro de síntesis a continuación (Tabla 1.1).

La Figura 1.1 muestra el organigrama para el proyecto.

Tabla 1.1. Cargos y funciones del personal que desarrollará el estudio.

Nombre	Grados Académicos o Título Profesional	Especialización Profesional	Años de experiencia en el tema asignado	Función que cumplirá en el estudio	HH para el proyecto
Brian Townley	Geólogo, MSc, PhD	Geología, Metalogénesis, Geoquímica Aplicada	15	Administrador de Proyecto, Responsable de geología	36
Sergio Barrientos	Geofísico, PhD en Sismología	Sismología	30	Responsable de sismicidad, peligro sísmico y tsunamis	36
Jaime Campos	Geofísico PhD Sismología	Sismología	20	Sismicidad, peligro sísmico	33
Armando Cisternas	Ing. Civil en Minas, PhD Sismología, PhD Matemáticas	Sismología	35	Experto. Asesor general en temas de sismología aplicada a instalaciones nucleares.	10
Alfredo Lahsen	Geólogo	Volcanología, geotermia	30	Responsable de peligro volcánico	8
Marisol Lara	Geólogo, MSc.	Geología Aplicada, remociones en masa	3	Geólogo de proyecto	190
James McPhee	Ingeniero Civil, Ph.D.	Hidráulica, hidrología	10	Responsable de inundaciones	33
Cristóbal Padilla	Geólogo	Geología Aplicada e hidrogeología	3	Geólogo de proyecto	270
Sofía Rebolledo	Geólogo, MSc.	Geología Aplicada a la Ingeniería, Geología Estructural	20	Responsable de sismotectónica , Remociones en masa	36
Rodolfo Saragoni	Ingeniero Civil,Ph.D. en Ingeniería Sísmica.	Ingeniería Sísmica	35	Experto Asesor Seguridad Sísmica	10
Mauricio Sarrazin	Ingeniero Civil, MSc., PhD.	Ingeniería antisísmica	35	Responsable ingenieríaest	33
Sergio Sepúlveda	Geólogo MSc., PhD.	Geología Aplicada, remociones en masa	10	Responsable de remociones en masa	33
María Victoria Soto	Geógrafa, Magíster en Geociencias	Geomorfologíagla ciología, geografía	20	Responsable de geografía	10
Gabriel Vargas	Geólogo, MSc., PhD.	Geomorfología, geología marina, tectónica-	13	Responsable de peligro volcánico	25

		paleosismología peligro volcánico			

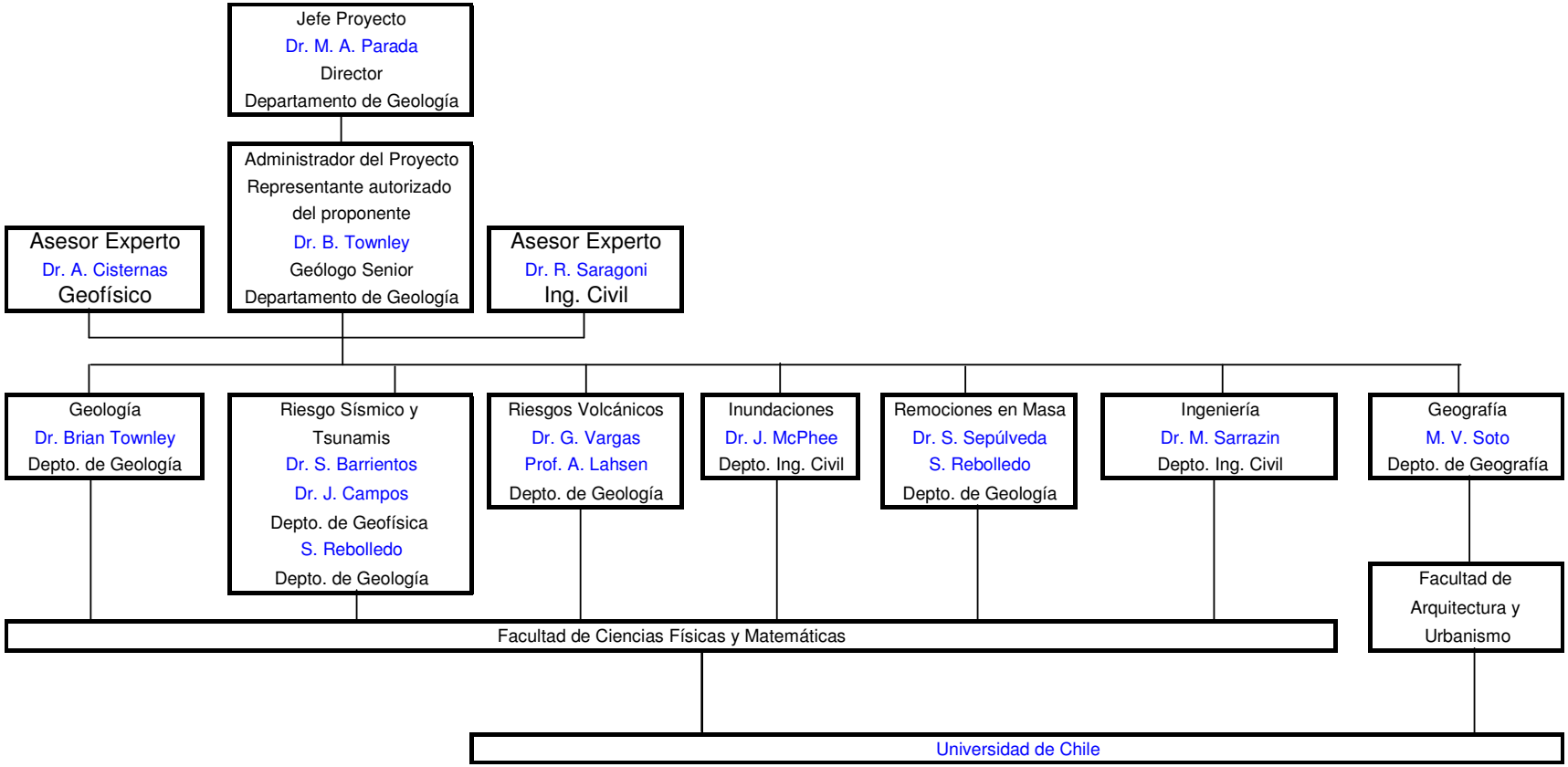


Figura 1.1. Organigrama para el Proyecto
Departamento de Geología - Universidad de Chile

1.6 Informes y plazos de entrega

El plazo para la realización del estudio fue de 3 meses.

Se estableció como la fecha oficial de inicio del proyecto el día 22 de septiembre de 2009. Los plazos de entrega de informes fueron:

- Informe de actividades: 6 de Octubre
- Informe de avance: 17 de Noviembre
- Borrador informe final: 15 de Diciembre

Queda pendiente la Revisión del informe por parte de CNE, que tiene fecha para el día 29 de Diciembre y la entrega del Informe Final y Resumen el día 12 de Enero del 2010.

1.7 Documentos Generales

En general, se revisaron todos los documentos pertinentes a los temas tratados en el presente estudio, en particular los publicados por:

- Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), en la Serie Estándares de Seguridad.
- Agencia de recursos naturales y energía, del Ministerio de Comercio e Industria de Japón
- Departamento de Desarrollo de Proyectos. Compañía de Energía Atómica de Japón
- Nuclear Safety comisión, Japón
- Dames & Moore. Estudio de selección de sitios para emplazamiento de una central núcleo-eléctrica. Comisión Chilena de Energía Nuclear.
- Colegio de Ingenieros de Chile, Programa de desarrollo de centrales nucleares en Chile, 2009-2030

En el estudio de Dames & Moores (D&M) se analizó el área limitada al norte con Huasco (28º30´S) y al sur con el río Maule (35º30´S) con el fin de seleccionar un sitio para la instalación de una central nuclear de potencia.

La metodología utilizada en la selección de un sitio de emplazamiento para una central nuclear, se basó en la identificación de los conceptos de interés. Los conceptos de interés en un estudio de sitio, contemplan las restricciones de Ingeniería, Medio Ambiente, Económicas y Sociales y el conocimiento del área de estudio. Cada concepto de interés representa un factor de

información derivado de una combinación de información de naturaleza relativamente homogénenea (D&M).

En general, los criterios están categorizados en dos clases: de exclusión y evaluativos. La violación de cualquiera de los criterios de exclusión, resulta en el descarte del área para la ubicación de la central.

Debido a la extensión del área en estudio y al número de conceptos que esto implica, fue elegido para este estudio (D&M), un sistema de análisis de tres fases. Estas fueron:

1) Barrido Regional (criterios de exclusión aplicados a los conceptos de Riesgos Sismotectónicos, Acceso/Preparación del Sitio, Disponibilidad de Agua de Refrigeración y Población) del que resultaron 12 áreas.

2) Barrido de Áreas (se aplicaron criterios evaluativos con la identificación de 4 zonas que tenían la más alta probabilidad de poder contener los mejores sitios; y,

3) Barrido de los sitios candidatos (se aplicaron los criterios evaluativos donde se identificaron cinco sitios potenciales).

En ese estudio se seleccionaron 5 sitios de los cuales tres presentaron los mejores indicadores. Sin embargo, el estudio concluye que en ese momento no era posible discriminar cuál era el mejor sitio sin antes resolver las incógnitas del aspecto sísmico. Más aún, indica que todos los sitios podrían quedar eliminados si el sismo de Chillán se asociara a una estructura regional.

Otro aspecto crítico reconocido en ese estudio, respecto a la seguridad de la central, se relaciona al desconocimiento respecto de fallas capaces.

En las recomendaciones el estudio de selección de sitios para emplazamiento de una central nucleoeléctrica en Chile (D&M), ha mostrado que se puede discriminar entre sitios potenciales en cuanto a su idoneidad, en base a todos los conceptos excepto los de Aceleración y fallas. Sin embargo, estos son los conceptos más importantes para el costo total y la seguridad de la Central.

Finalmente, este estudio recomienda algunos pasos necesarios para mejorar la información requerida para la selección de los sitios.
Por su parte, en el documento publicado por el Colegio de Ingenieros de Chile (2009), se presentan los fundamentos para incorporar la energía nuclear

en el país y se presentan algunos criterios básicos de selección de sitios. De acuerdo al documento, los sitios deben estar emplazados:

- En zonas de baja densidad poblacional.
- Lejos de zonas densamente pobladas.
- Cerca de centros de mayor demanda eléctrica.
- Cerca de abundantes recursos de agua para refrigeración.
- Cerca de puertos y caminos que faciliten su construcción y operación.
- Cerca de líneas de transmisión de energía eléctrica.
- En áreas de menor sismicidad y alejadas de volcanes.
- En áreas de meteorología adecuada.
- Lejos de contaminación ambiental.
- Lejos de centros críticos que puedan verse inmovilizados por accidentes nucleares.
- Fuera de áreas protegidas, humedales, parques forestales y similares.
- Fuera de áreas de interés patrimonial, histórico, arqueológico y similar.
- Con afinidad a la población y economías locales.

De acuerdo a los criterios de selección planteados, proponen tres zonas de 200 km de longitud de costa cada una, para la ubicación de sitios con una capacidad para albergar 4 reactores cada uno. La Zona 1, ubicada entre Tocopilla y Antofagasta, la Zona 2 entre Tongoy y Pichidangui y la Zona 3 entre Navidad y Constitución. En el estudio mencionado se muestra también un cronograma de actividades para implementar la primera planta nuclear en Chile.

Los documentos utilizados son presentados en cada capítulo y en una lista de referencias al final del informe.

CAPÍTULO 1 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 Antecedentes Generales 1
1.2 Antecedentes Específicos 2
1.3 Objetivos 2
1.3.1 Objetivos Generales 3
1.3.2 Objetivos específicos 3
1.4 Metodología general del estudio 4
1.4.1 Caracterización de peligros geológicos a nivel nacional y restricciones geográficas 5
1.4.2 Requerimientos y acciones necesarias para la evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos 8
1.4.3 Brechas nacionales en materia de riesgos naturales 8
1.4.4 Evaluación del costo adicional para la construcción de un reactor nuclear en zonas de alta sismicidad 8
1.5 Equipo Ejecutor 10
1.6 Informes y plazos de entrega 14
1.7 Documentos Generales 14

CAPÍTULO 2
CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS Y PELIGROS NATURALES A NIVEL NACIONAL

2.1 Condiciones geológicas

2.1.1 Introducción

El emplazamiento de obras civiles de envergadura en cualquier localidad requiere estudios de las condiciones geológicas tanto de entorno como de suelo y subsuelo, esto para efectos de consideraciones de diseño de ingeniería y viabilidad técnico-económica.

De acuerdo a las directrices de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), publicados en la Serie Estándares de Seguridad, en particular en el documento "Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants" (IAEA, No. NS-G-3.6, 2004), para la ubicación de zonas de emplazamiento de centrales núcleo-eléctricas, se indica como requerimiento básico el estudio de las condiciones geológicas, particularmente en términos de estratigrafía/litología y estructuras, en la descripción de la extensión y naturaleza de los materiales de subsuelo, la caracterización de suelo y rocas (respecto de propiedades), y la caracterización de los sistemas de aguas subterráneas, hidrología, hidrogeología e hidrogeoquímica.

Para la localización de potenciales zonas de emplazamiento de centrales núcleo-eléctricas, las condiciones geológicas si bien de por si no son restrictivos en la perspectiva de litología (tipo de roca), estos inciden en los parámetros que determinan las condiciones de riesgo geológico, entre estos los sísmicos (atenuación o amplificación de ondas sísmicas), los geomecánicos y geotécnicos (estabilidad de rocas), los de remociones en masa y los de procesos químicos de disolución de rocas. Por otra parte los tipos litológicos, estratigrafía, fracturas y fallas, inciden sobre aspectos de permeabilidad y características de los sistemas de aguas subterráneas (acuíferos). De lo anterior, si bien en una perspectiva de ingeniería es factible la construcción de centrales núcleo-eléctricos en una diversidad de sitios y condiciones geológicas, los costos de diseño son en gran medida condicionados por los parámetros de localidad, incluso en algunos casos

pudiendo ser de costos que no justifican un negocio de generación de energía.

En términos generales y a escala regional, las características y propiedades básicas esperables para los distintos tipos de litología de sustrato presentes en la geología de Chile pueden ser simplificadas por edad y por tipo de roca, subdividido en rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias, volcánicas, intrusivas y metamórficas (Figura 2.1.1). Esta revisión representa una primera aproximación que permitirá cruzar dicha información con otros parámetros de mayor restricción, de tal forma de obtener macro zonas de potencialidad para el emplazamiento de centrales núcleo-eléctricas en el país.

2.1.2 Condiciones litológicas y relación con riesgos geológicos

En una perspectiva de propagación de ondas sísmicas y procesos de atenuación o amplificación, de acuerdo a las normas internacionales (códigos sísmicos de 1994 y 1997 Provisiones NEHRP y 1997 UBC) y nacionales, las rocas pueden ser clasificadas en los siguientes grandes grupos:

- Rocas duras (cristalinas), con velocidades de propagación superiores a 1500 m/s
- Rocas fracturadas o gravas semi-consolidadas, con velocidades de propagación entre 1500 a 760 m/s.
- Suelos y depósitos no consolidados, rocas blandas, con velocidades de propagación menores a 760 y 360 m/s.
- Suelos duros, con velocidades entre 180 y 360 m/s.
- Suelos blandos, con velocidades menores a los 180 m/s.
- Casos especiales que requieren estudios particulares.

En una escala regional la clasificación indicada puede ser relacionada a grandes rasgos con los grandes grupos litológicos y de edad de rocas del país. Rocas cristalinas antiguas, en particular metamórficas e intrusivas, representarían aquellas rocas duras de alta velocidad de propagación. En esta categoría se pueden incluir rocas volcánicas y volcano-sedimentarias antiguas seguido, en orden de potencial menor velocidad de propagación por rocas sedimentarias antiguas. Rocas más jóvenes, en el mismo orden, de intrusivas a volcánicas a volcano-sedimentarias a sedimentarías tendrían potenciales velocidades de propagación progresivamente menores, pero todas dentro del los rangos 1) y 2), es decir desde sobre 1500 m/s hasta los 760 m/s. El grado de fracturamiento de las rocas es una condicionante secundaria que se asocia con el análisis estructural, en particular en proximidad a zonas de fallas y de deformación cortical frágil, pero que se relaciona también con velocidades de propagación progresivamente más

lentas. La velocidad de propagación, si bien no se relaciona directamente con las condiciones de atenuación o amplificación de ondas sísmicas, a modo general, a mayor velocidad, mayor atenuación existe, y viceversa.

En forma similar a las propiedades de atenuación o amplificación sísmica, las características geomecánicas y geotécnicas de sustrato son mejores en rocas más cristalinas y antiguas, la calidad geomecánica y geotécnica menor para rocas más jóvenes y blandas. No obstante, estas propiedades no solo son dependientes de las condiciones litológicas, también dependen del grado de fracturamiento, por lo cual son dependientes de aspectos estructurales, una restricción de mayor relevancia que los tipos litológicos.

A escala local y distrital otro aspecto fundamental de riesgo geológico lo constituye la susceptibilidad de procesos de remociones en masa en las cercanías de una zona de emplazamiento. En términos generales la susceptibilidad de remociones en masa es en parte una función de los tipos litológicos involucrados. De acuerdo a la clasificación general de susceptibilidad (Arnold et al.,2006) las rocas con menor probabilidad de generar remociones en masa son aquellas cristalinas, intrusivas o volcánicas, más antiguas. Esto implica que zonas de rocas metamórficas, intrusivas y volcánicas ofrecen las mejores condiciones respecto de riesgo de remociones en masa. Esto si bien se compara en condiciones iguales para distintos tipos litológicos, depende también de las condiciones morfológicas, topográficas e hidrográficas.

Una restricción litológica mayor es la que concierne procesos de disolución química de rocas. En ambientes de rocas carbonatadas y rocas clásticas carbonatadas, en presencia de circulación de aguas tanto superficiales como subterráneas, es frecuente la ocurrencia de procesos de disolución, lo que lleva al desarrollo de permeabilidad. El desarrollo de cavernas karsticas y ambientes de colapso implican sustratos de baja estabilidad, una condición litológica que es totalmente restrictivo a emplazamiento de grandes obras civiles. Caso similar ocurre para rocas sedimentarias en las cuales existen evidencias de secuencias de rocas salinas.

Finalmente la permeabilidad primaria (original de la roca) y/o secundaria en rocas es determinante en las condiciones hidrogeológicas de entorno. En zonas de emplazamiento de posibles centrales es preferible una baja permeabilidad del sustrato, de tal forma de disminuir los peligros de efecto en los acuíferos. Esto se relaciona al igual que parámetros anteriores, con la cristalinidad de las rocas y el grado de fracturamiento. Rocas más antiguas, cristalinas y con bajo fracturamiento otorgan las mejores condiciones,

acuíferos muy poco desarrollados, de mala transmisibilidad, y de pobre capacidad de dispersión geoquímica.

En resumen, rocas más antiguas y cristalinas representan aquellas que mejor aproximan las mejores condiciones de emplazamiento de posibles centrales núcleo-eléctricas. Rocas de basamento metamórfico (con excepción de mármoles), de batolitos y de rocas volcánicas ofrecen las mejores condiciones en la perspectiva de parámetros sísmicos, geomecánicos y geotécnicos, de remociones en masa, y de permeabilidad a sistemas acuíferos. Por otra parte, rocas sedimentarias susceptibles de procesos de disolución deben ser descartadas. En el caso de sedimentos no consolidados, si bien estos no ofrecen las mejores condiciones, no deben ser descartadas del todo, dado que depende del espesor de estas y de las litologías de sustrato que presentan. Los diversos tipos litológicos no son por si solos limitantes para zonas de emplazamiento, pero si determinan las condicionantes más generales para la selección de áreas potenciales.

Figura 2.1.1. Geología de Chile

2.1.3 Características y segmentación morfotectónica del Orógeno Andino

A escala continental la geología de Chile se caracteriza por la evolución del margen Sudamericano en un ambiente de margen de placa activo. Durante el Proterozoico al Paleozoico la evolución del margen continental observó procesos de acreción y migración de arco de este a oeste, y puede ser descrito en una historia de "ambiente de colisión". Si bien en la evolución post Triásica se han descrito procesos puntuales de acreción de terrenos, la evolución post Triásica se caracteriza por procesos de retroceso del margen continental y migración del arco de oeste a este, atribuidos a "erosión por subducción" (Charrier et al., 2007). El periodo intermedio, Pérmico – Triásico, se caracterizó por subducción lenta a nula, tiempo en el cual existió una organización paleogeográfica particular, caracterizada por amplio magmatismo de composición de diversas afinidades (Charrier et al., 2007). La evolución geotectónica de Chile puede ser entonces dividida en varias etapas de evolución tectono-estratigráficas distribuidas a lo largo del país, los tipos litológicos y deformación asociada propios de cada región de Chile y de la evolución particular de estos.

A escala del Orógeno Andino es posible diferenciar dos elementos morfotectónicos mayores, aquellos paralelos a la orientación principal del orógeno y codos oroclinales en los cuales ocurren cambios mayores de la orientación principal de la morfología y estructuras del orógeno (Charrier et al., 2007: Figura 2.1.2). La continuidad de unidades morfotectónicas norte-sur es interrumpida en aquellas regiones donde las dorsales de Juan Fernández y de Chile intersectan el margen continental, causando una segmentación del orógeno (Figura 2.1.3). La región en la cual ocurre la subducción de la dorsal pasiva de Juan Fernández (entre 27° y 33° S) corresponde a una zona de subducción plana, mientras que al norte y sur de esta zona la subducción es de alto ángulo (Cahill e Isacks, 1992). Más al sur (45° a 47° S) la subducción de la dorsal de Chile determina la existencia del punto triple de Taitao.

En los Andes Chilenos, al norte del punto triple de Taitao, el principal cambio morfológico provocado por subducción plana es la ausencia de la depresión central longitudinal, una unidad morfológica que separa la Cordillera de la Costa de la Cordillera Principal (Figura 2.1.2a). En esta región no son diferenciables estas dos cordilleras. Esta condición determina la existencia de dos segmentos, uno entre los 18° y 27° S y el otro entre los 33° y 46° S en los cuales existe buen desarrollo de la depresión central y una intermedia en la cual dicha depresión está ausente (27° - 33° S; Figura 2.1.2), denominada como zona de valles transversales (Norte Chico). En Chile la zona de

subducción plana se caracteriza por la ausencia de actividad volcánica reciente, sugerente de que la subducción de la dorsal Juan Fernández controla la morfología, magmatismo y tectónica. Al sur del punto triple de Taitao se observa un fuerte cambio morfoestructural y del patrón orográfico general de la cordillera (Figura 2.1.2b). Las undidades morfoestructurales en esta región corresponden, de oeste a este, zona de Archipiélagos, la Cordillera Patagónica y la Precordillera.

Basados en las diferencias morfológicas y tectónicas que ocurren en las intersecciones del margen continental con dorsales oceánicos, los Andes sudamericanos pueden ser divididos en tres regiones principales (Aubouin et al., 1973; Gansser, 1973): los Andes del Norte, Centrales y del Sur (Figura 2.1a). Los Andes Chilenos conforman parte de Los Andes de la zona sur de los Andes Centrales al norte del punto triple de Taitao, y los Andes del Sur, al sur del mencionado punto triple.

Al norte del punto triple de Taitao, la convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana es esencialmente ortogonal, mientras que al sur la convergencia cambia gradualmente de casi ortogonal a oblicua y finalmente paralela al margen continental en el extremo sur del país.

Las características y segmentación morfotectónica del país definen a escala regional diversos ambientes geológicos con una gama de tipos litológicos, ambientes de deformación y geomorfológicos generales, que si bien por si solos no representan criterios críticos en la búsqueda de potenciales zonas para el emplazamiento de sitios para centrales núcleo – eléctricas, si permiten definir aquellas regiones en las cuales ocurren los escenarios más favorables en términos del menor riesgo geológico.

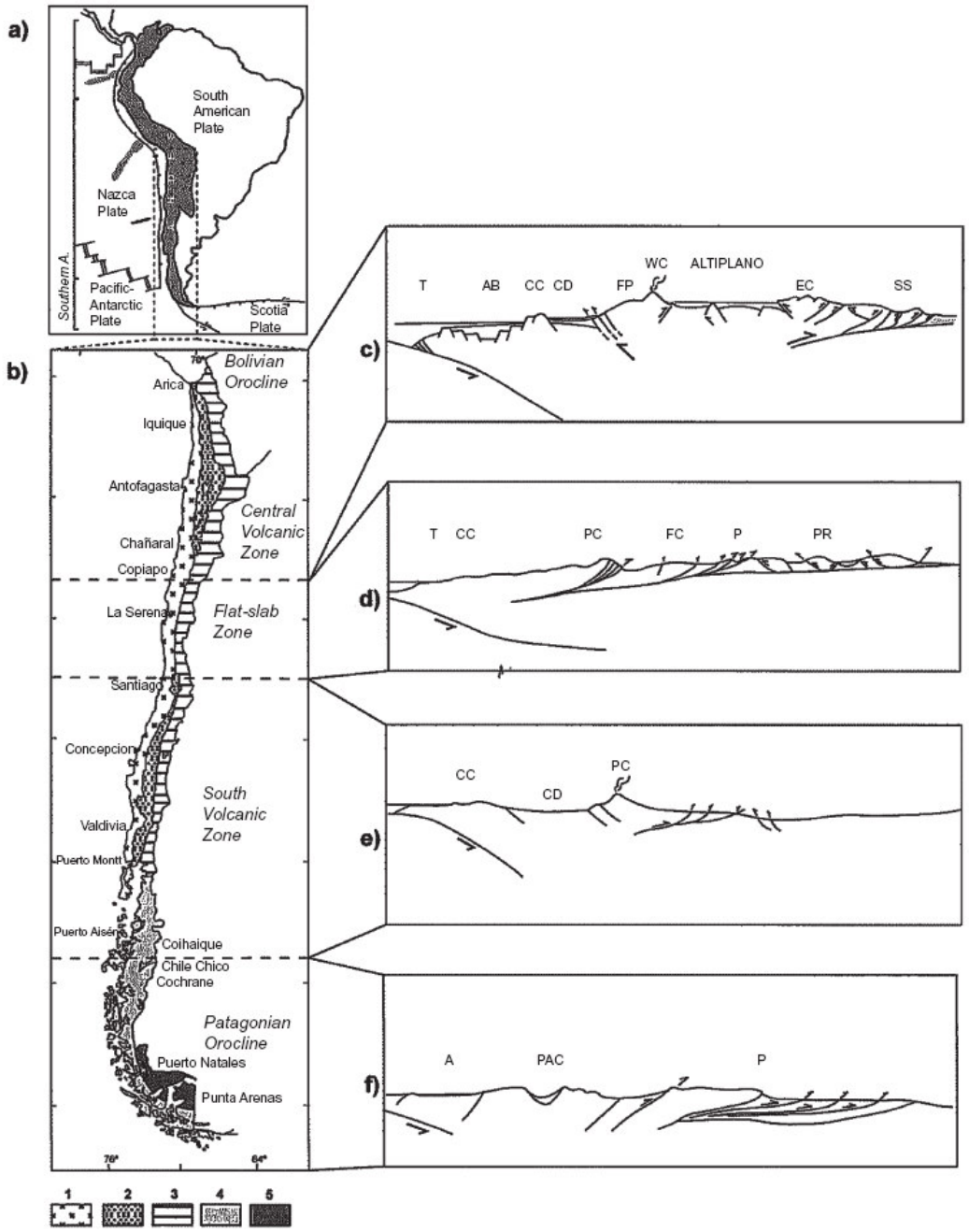


Figura 2.1.2. Ubicación de Los Andes Centrales y del Sur respecto de Sudamerica, y los elementos morfológicos mayores de la Cordillera Andina y de las placas oceánicas en el margen occidental del continente (tomado de Charrier et al., 2007).

En la figura 2.1.2 se presenta la ubicación de Los Andes Centrales y del Sur respecto de Sudamérica, y los elementos morfológicos mayores de la Cordillera Andina y de las placas oceánicas en el margen occidental del continente (Charrier et al., 2007). Los elementos indicados son:

(a) Ubicación de la Cordillera de Los Andes respecto de Sudamérica y subdivisiones principales a lo largo de esta, con elementos morfológicos y tectónicos principales en las placas oceánicas: placas de Nazca y Pacífica – Antártica, separadas por la dorsal de Chile, y de norte a sur las dorsales pasivas Carnegie, Nazca y Juan Fernández (en gris).
(b) Unidades morfológicas mayores de los Andes Centrales y del Sur en Chile (17°45'-56° S): Oroclinos Boliviano y Patagónico, segmentación Andina y unidades morfoestructurales: 1) Cordillera de la Costa; 2) Depresión Central; 3) Precordillera y Cordillera Occidental (18° a 27° S), Alta Cordillera (27° a 33° S; segmento de subducción plana), Cordillera Principal (33° a 42° S), Cordillera Patagónica; 5) Tras arco Andino en la región Austral.
(c) a (f) Secciones esquemáticas de los distintos ambientes tectónicos: (c) Zona Volcánica Central con alto ángulo de subducción; (d) Zona de subducción plana; (e) Zona Volcánica Sur con alto ángulo de subducción; (f) Zona de Los Andes Australes. Abreviaciones: AB = Basamento de Arica; CC = Cordillera de la Costa; CD = Depresión Central; EC = Cordillera Oriental; FC = Cordillera Frontal; FP = Cordillera de antearco (norte); P = Precordillera (en Argentina entre los 27° y 33° S); PA = Archipiélagos Patagónicos; PAC = Cordillera Patagónica; PC = Cordillera Principal; PR = Región Pampeana; SS = Serrania Subandina; T = Fosa; WC = Cordillera Occidental.

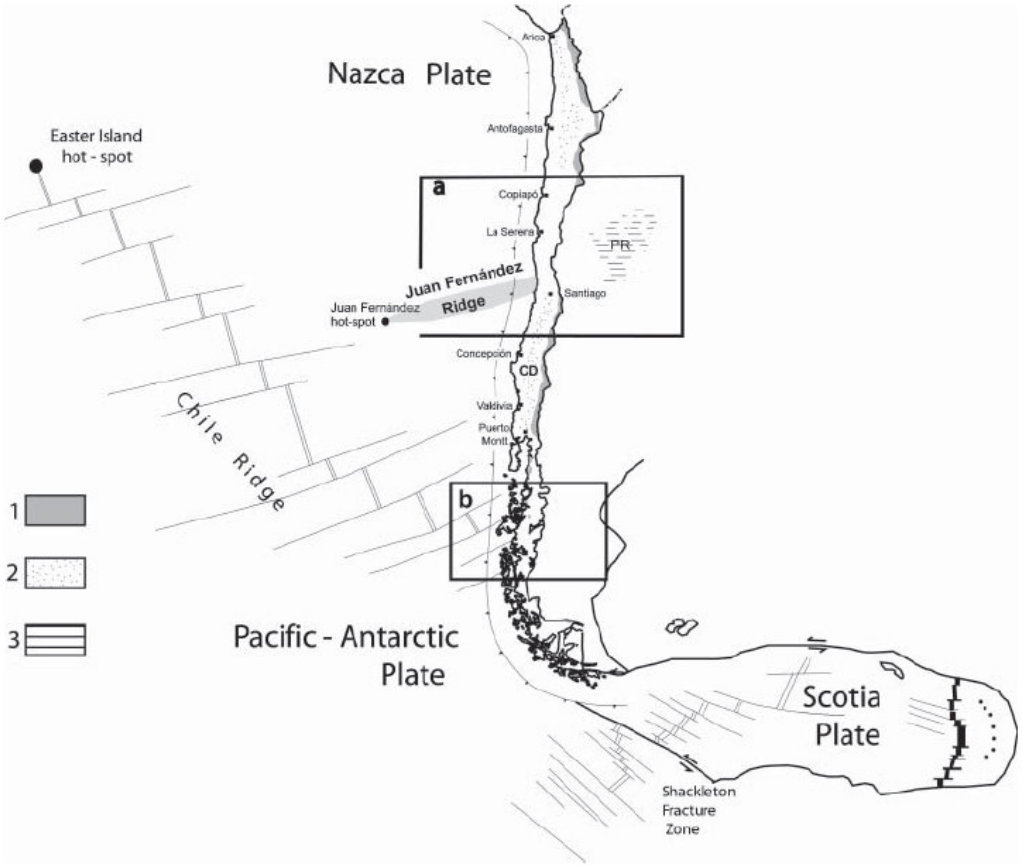


Figura 2.1.3. Configuración del Pacífico SE con las placas de Nazca, Pacífica-Antártica y Scotia (tomado de Charrier et al., 2007). La dorsal de Chile (no a escala) separa las placas de Nazca y Pacífica-Antártica. La placa Scotia está separada de la placa Sudamericana por una falla transcurrente sinestral conectada hacia el oeste con la Falla Magallanes, el margen norte de Scotia, y separada de la placa Pacífica-Antártica por la zona de fractura Shackleton. (a) Ubicación de la dorsal de Juan Fernández, margen de la placa de Nazca y segmentación del orógeno con la zona de subducción plana (Norte Chico) sin depresión central y ausencia de actividad volcánica Plio-Pleistocena; desarrollo de regiones Pampeanas en Argentina. (b) Ubicación del punto triple de Taitao. Leyenda: 1, Volcanismo Plio-Pleistoceno; 2, Depresión Central; 3, Regiones Pampeanas (PR).

2.1.4 Geología de Chile y regiones potenciales para el emplazamiento de centrales núcleo eléctricos

En la Figura 2.1 se presenta un mapa geológico de Chile simplificado del mapa Geológico de Chile del Sernageomin (2003), escala 1:1.000.000, donde se han agrupado las unidades de roca divididos por edad y por tipo litológico, en rocas sedimentarias, volcanosedimentarias, volcánicas, intrusivas y metamórficas.

De acuerdo a los criterios generales de búsqueda, las litologías más cristalinas y más antiguas representan aquellos tipos de roca en las cuales ocurre la mayor velocidad de propagación sísmica, se dan las mejores condiciones geomecánicas y geotécnicas, tienen menor susceptibilidad de remoción en masa, tienen menor permeabilidad primaria, y con algunas excepciones, son aquellas que resisten procesos de disolución química de la roca (excepción son rocas metamórficas carbonatadas, ej. mármoles).

En una primera revisión se indican aquellas zonas, de norte a sur en Chile, donde se presentan rocas más antiguas y cristalinas (Figura 2.1.1).

Zona Norte: en la zona norte se distinguen rocas intrusivas y volcánicas del Paleozoico, localizadas en franjas norte – sur a lo largo de la cordillera principal (Cordillera de Domeyko), desde la latitud de Iquique (20° S) hasta un poco más al sur de los 35° S. Rocas de este tipo y edad ocurren en regiones cordilleranas del norte desértico del país, en muchos casos asociados con topografías abruptas y distantes de grandes poblados y/o infraestructura. En la cordillera de la costa del norte de Chile ocurren extensos afloramientos de rocas volcánicas e intrusivas del Jurásico, presentes desde un poco más al norte de la localidad de Tocopilla (22° S) hasta la región de Valparaíso (33° S), con anchos variables que se extienden desde zonas costeras hasta el interior de la Cordillera de la Costa, en el norte limitado por los valles o depresión central, en el norte Chico delimitado por rocas volcánicas e intrusivas de edad Cretácico, y más al sur, en la región de Valparaíso y Metropolitana, delimitada por la depresión central y por rocas cretácicas. En forma más local, ocurren rocas metamórficas del Paleozoico, intruidas en algunos casos por plutones de edad Triásico, estos en el borde costero, al oeste de la franja de rocas volcánicas e intrusivas del Jurásico. Estas rocas se localizan en una franja costera desde un poco más al sur de Antofagasta hasta un poco más al sur de Chañaral y en una franja angosta y de poca extensión al norte de La Serena, y en forma puntual a lo largo del margen costero desde La Serena hasta Valparaíso. Al este de la franja de rocas jurásicas del norte ocurren, desde aproximadamente Antofagasta hacia el sur, una franja norte – sur de

rocas plutónicas de edad Cretácico. Desde un poco más al norte de La Serena hasta un poco más al sur de Valparaíso, la franja de rocas plutónicas se asocia espacialmente con una franja de rocas volcánicas cretácicas, que en el Norte Chico se distribuyen principalmente a lo ancho de las cordilleras transversales, y en la región de Valparaíso y Metropolitana representa el margen este de la cordillera de la Costa, al oeste de la depresión central. En el extremo norte del país y en todo el margen oriental hasta un poco más al norte de La Serena existen amplias secuencias de rocas volcánicas, volcanosedimentarias y sedimentarias de edad Paleógeno y Neógeno. En la región de Arica estas son predominantes, solamente pequeñas localidades en la cuales ocurren afloramientos de rocas intrusivas y volcánicas cretácicas, como también rocas intrusivas paleógenas. En la región del Norte Chico rocas de esta edad son menos frecuentes, pequeños afloramientos de rocas volcánicas en la frontera Chileno-Argentina, sobre rocas intrusivas del Paleozoico y en menor medida Triásico, que aproximadamente a la latitud de Los Vilos hacia el sur cambian a gruesas secuencias de rocas volcanosedimentarias y volcánicas del Paleógeno y Neógeno, intruidas por plutones y stocks de edad Paleógeno y Neógeno. En la depresión central y precordillera del norte de Chile existe una amplia cobertura de secuencias sedimentarias semi-consolidadas a no-consolidadas del Paleógeno y Neógeno, que incluso en el Norte Grande se extiende al oriente a zonas del altiplano. Estos se extienden hacia el sur hasta aproximadamente la latitud de Vallenar, donde en la región de valles transversales se ausentan y que más al sur, a la latitud aproximada de Valparaíso, ya con la presencia de la depresión central, se caracteriza por gruesas secuencias de rocas sedimentarias no-consolidadas de edad Cuaternario.

Zona Central: desde la región de Valparaíso hasta la latitud de la isla de Chiloe, el país se caracteriza por el amplio desarrollo de la depresión central. En la zona costera, al oeste de la depresión ocurre un amplio desarrollo del basamento metamórfico Paleozoico, interpretado como un prisma de acreción, compuesto por rocas metamórficas e intrusivas paleozoicas. La depresión central se caracteriza por extensa y potentes secuencias de rocas sedimentarias semi a no-consolidadas de edad Cuaternario, en diversas localidades con desarrollo transversal importante de rocas volcánicas de edad Neógeno y Cuaternario. La cordillera principal, desde la latitud de Valparaíso hasta la latitud de Osorno, se caracteriza por la existencia de potentes secuencias de rocas volcanosedimentarias y volcánicas, estas intruidas por plutones y stocks de edad Neógeno. Desde aproximadamente la latitud de Santiago hacia el sur, en la cordillera principal, existe una cobertura de rocas volcánicas cuaternarias que cubren rocas más antiguas, estas asociadas a procesos de volcanismo activo que es continuo hasta la región

de Aysén. A la latitud de la región Metropolitana y de O'Higgins, en el extremo oriental de la cordillera, en la frontera Chileno-Argentina, existe una delgada franja de rocas sedimentarias jurásicas. En estas mismas regiones, en el borde oriental de la cordillera de la costa ocurren secuencias de rocas volcánicas e intrusivas de edad Cretácico, las cuales se extienden en una delgada franja hasta la latitud aproximada de Talca. Más al sur, un poco más al sur de Osorno, las rocas volcánicas neógenas dan lugar a un dominio de rocas intrusivas, que desde la localidad de Liquiñe hacia el sur conforman el Batolito Norpatagónico, de mayor desarrollo en la zona sur.

Zona Sur: la depresión central desde Chiloe hacia el sur da paso a la región de los archipiélagos, en particular los Archipiélagos de los Chonos. Estas se caracterizan por un basamento metamórfico de edad Triásico, que es cortado en la región de Aysén hacia el oriente por el Batolito Norpatagónico. El Batolito Norpatagónico se extiende desde aproximadamente la latitud de Osorno con su mayor expresión desde la latitud de Puerto Montt hacia el sur, con la existencia de una franja central de rocas intrusivas de edad Neógeno que corta el Batolito Cretácico entre la Peninsula de Taitao hasta la localidad de Liquiñe por el norte. Existe una relación espacial y genética del batolito neógeno con la evolución del Sistema de Fallas Liquiñe – Ofqui, la cual también se relaciona con la localización de actividad volcánica cuaternaria y actual. Al oriente del batolito neógeno el Batolito Norpatagónico observa su mayor desarrollo en el batolito de edad Cretácico. Estas rocas, en una franja norte – sur limitan la frontera Chileno-Argentina en la región de Chiloe continental, pero más al sur, en la región de Aysén estas intruyen a potentes secuencias de rocas volcánicas, volcanosedimentarias y sedimentarias de edades Jurásico y Cretácico y se encuentran menormente cubiertas por rocas del Paleógeno y Neógeno. Al sur de la península de Taitao (punto triple), el batolito Patagónico es progresivamente más ancho, e intruye hacia el oriente un basamento metamórfico cristalino de edad Paleozoico, que se extiende entre la región del Lago General Carrera hasta pasado el límite sur de los hielos permanentes sur. Este basamento metamórfico es de protolito principalmente sedimentario, en los entornos del Lago General Carrera con presencia importante de mármoles, pero en general más bien rocas de tipo esquistos. El batolito Patagónico al sur de la península de Taitao se extiende a lo largo de todo el margen continental oeste y sur, hasta la región de Tierra del Fuego. Al oeste de este Batolito, en un margen muy delgado de secuencias volcanosedimentarias y sedimentarias de edad Paleozoico. Al sur de los hielos permanentes del sur, inmediatamente al oriente del Batolito Patagónico ocurren delgadas franjas de rocas volcánicas y volcanosedimentarias de edad Jurásico, a las cuales le sigue una franja de mayor extensión de rocas sedimentarias Cretácicas y hacia el oriente, rocas

también sedimentarias de edad Paleógeno, menor Neógeno y finalmente amplias zonas de depósitos sedimentarios semi a no-consolidados de edad Cuaternario. Existe también un desarrollo local de rocas volcánicas de edad Neógena. En el extremo sur, en el margen sur de la costa, existen rocas volcánicas de edad Paleógeno.

Esta descripción de la geología de Chile a escala país, basado en una unificación de unidades litológicas en edades y tipo de roca (Figura 2.1) en modificación del mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2003), permite a grandes rasgos determinar aquellas regiones donde se presentan las litologías que mejores condiciones pueden ofrecer para efectos de la búsqueda de zonas de emplazamiento para potenciales centrales núcleo – eléctricas. En la zona norte y en consideración de necesidades de existencia de agua, la franja costera es la que mejor se presenta. El amplio desarrollo del Batolito de la Cordillera de la Costa y de amplias secuencias de rocas volcánicas de edad Jurásico, que más al sur observa también presencia de rocas metamórficas paleozoicas e intrusivas triásicas corresponden a rocas antiguas volcánicas e intrusivas que de acuerdo a las consideraciones generales indicadas anteriormente en este informe son aceptables para zonas de emplazamiento de potenciales centrales núcleo-eléctricos. No obstante, otras consideraciones pueden indicar esta franja costera como no adecuada, esto en revisión más adelante en este informe. En la precordillera y cordillera principal de la zona norte si bien existen rocas Paleozoicas intrusivas y metamórficas, estas se ubican en un clima hiper árido y de escaso acceso a agua, condición limitante para el emplazamiento de potenciales centrales.

En la región central ocurre una extensa y amplia franja costera de rocas metamórficas e intrusivas de edad Paleozoico, que conforman la cordillera de la costa desde la región de O'Higgins hasta la región de Chiloé. En una perspectiva litológica y de acceso a recursos hídricos, esta franja ofrece condiciones adecuadas para la localización de potenciales zonas de emplazamiento de centrales, esto solamente en términos generales, dado que otras condiciones más restrictivas pueden modificar esta clasificación general. Hacia el interior de la cordillera de la costa ocurren depósitos sedimentarios y rocas volcánicas recientes, característicos de la depresión central, ambientes que si bien cuentan con recursos hídricos, en términos generales observan rocas menos adecuadas. En la cordillera principal ocurren rocas volcánicas recientes e intrusivas neógenas, en un ambiente topográfico mas abrupto y ambientes volcánicos activos, todas condiciones que hacen estas zonas menos atractivas que la cordillera de la costa y costa de la zona central.

En la región sur, tanto en la isla de Chiloé como los Archipiélagos de Los Chonos, existe una amplia distribución del basamento metamórfico Triásico, pero estas localidades se encuentran separadas del continente. En Chiloé continental y en la región de Aysén, en una perspectiva litológica existe un basamento granitoide, en particular el batolito Norpatagónico, y más al sur un basamento metamórfico cristalino de edad Paleozoico. El batolito se ubica en la zona occidental de la región y representa la Cordillera principal de los Andes, con una morfología abrupta de origen glacial reciente, en una zona de falla activa y volcanismo activo a lo largo del Sistema de Fallas Liquiñe – Ofqui. Al oriente del batolito ocurren rocas volcánicas y sedimentarias jurásicas y cretácicas. Estas últimas ofrecen un ambiente litológico adecuado, pero existen diversas consideraciones de otros parámetros que son de mayor relevancia a la selección de potenciales zonas de emplazamiento de centrales núcleo-eléctricos. Al sur del Lago General Carrera existe un predominio del basamento metamórfico cristalino Paleozoico, en proyección al sur del punto triple de Taitao y en una región de baja a nula sismicidad. Por otra parte los recursos hídricos son abundantes, de lo anterior, este basamento representa una buena zona potencial para emplazamiento, con la excepción de rocas metamórficas de protolito sedimentario calcáreo, en particular mármoles en las riberas del Lago General Carrera, pero que son menos frecuentes hacia el sur. Más al sur, la región esta constituida principalmente por el batolito Patagónico, la cual representa la cordillera de Los Andes, caracterizado por un relieve abrupto y discontinuo, una región de archipiélagos de difícil acceso y muy inhóspitos a toda actividad humana. Finalmente en la región de Tierra del Fuego, las condiciones litológicas observan rocas intrusivas y volcánicas adecuadas en términos generales para potenciales zonas de emplazamiento de centrales núcleo-eléctricas, pero que en la perspectiva de ubicación e infraestructura pudieran no ser óptimos, sobretodo en términos de evaluación económica.

Estas consideraciones y preselección de grandes regiones se basan en condiciones genéricas de tipo geológico, en particular litológico. El cruce de información y de los diferentes criterios de preselección llevará a zonas de interés preliminar, a escala regional.

CAPÍTULO 2 1
CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS Y PELIGROS NATURALES A NIVEL NACIONAL 1

2.1 Condiciones geológicas 1
2.1.1 Introducción 1
2.1.2 Condiciones litológicas y relación con riesgos geológicos 2
2.1.3 Características y segmentación morfotectónica del Orógeno Andino ... 6
2.1.4 Geología de Chile y regiones potenciales para el emplazamiento de centrales núcleo eléctricos 11

2.2 Peligro volcánico

2.2.1 Introducción

Se presenta la información relativa a la ubicación de los centros volcánicos del Pleistoceno-Holoceno en Chile continental, así como la de sus productos volcánicos, fundamentalmente a partir del Mapa Geológico escala 1:1.000.000 del Sernageomin (2003), así como a partir de compilaciones publicadas por González-Ferrán (1995) y Stern et al. (2007), junto con la base de datos globales de volcanes activos del *Smithsonian's Global Volcanism Program (2009)*. A partir de esto se discute una evaluación general del peligro volcánico en el territorio chileno continental.

Los principales procesos esperables durante una erupción volcánica se indican en la Figura 2.2.1. El radio de influencia de estos procesos depende entre principalmente del tipo de magmatismo (composición química, reología, etc.), del contexto geodinámico (placas tectónicas, composición y estructura cortical, tectónica regional, etc.), de la fisiografía y del clima que caracterizan el macizo volcánico y la región en la cual éste se inserta, así como de su evolución geológica (Hall, 1987; Francis, 1993; Best & Christiansen, 2001).

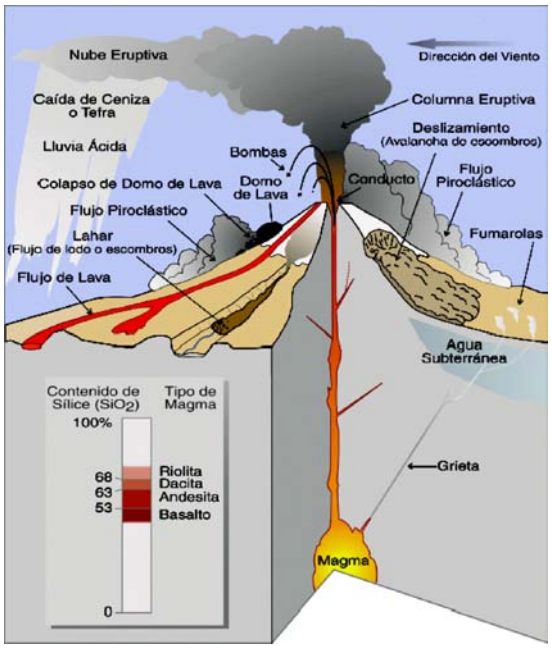


Figura 2.2.1. Esquema generalizado de los principales procesos esperables a partir de una erupción volcánica.

El VEI (por sus siglas en inglés Volcanic Explosivity Index), corresponde a una forma de medir el tamaño de las erupciones volcánicas en una escala de 0 a 8. Fue definido por Newhall y Self (1982) y está basado en la magnitud, en función del volumen de material eruptado, e intensidad, en relación con la altura de la columna eruptiva, de la erupción. En la Tabla 2.2.1 se caracterizan los distintos grados de la escala.

Tabla 2.2.1. Indice de Explosividad Volcánica (Modificado de Newhall y Self, 1982).

VEI	Descripción General	Descripción cualitativa	Volumen eruptado (m^3)	Altura de la columna (km)
0	No explosiva	Suave	10^4	< 0,1
1	Pequeña	Efusiva	10^6	0,1 - 1
2	Moderada	Explosiva	10^7	1 - 5
3	Moderada a grande	Explosiva	10^8	3 - 15
4	Grande	Cataclísmica, paroximal	10^9 = 1 km3	10 -25
5	Muy grande	Cataclísmica, paroximal	10^{10}	>25
6	Muy grande	Cataclísmica, paroximal	10^{11}	>25
7	Muy grande	Cataclísmica, paroximal	10^{12}	>25
8	Muy grande	Cataclísmica, paroximal	10^{13}	>25

En el caso de eruciones para las cuales no se dipone de registros históricos, el VEI puede ser inferido a partir de los registros geológicos de la misma. En la práctica el VEI de una erupción pasada se infiere generalmente a partir de la magnitud, es decir, de la estimación del volumen de los depósitos generados, y en el caso de una erupción reciente se infiere a partir de la intensidad, la cual se basa en la observación directa de la altura de la columna eruptiva. Esta escala se aplica normalmente en el caso de erupciones explosivas, no efusivas, las que habitualmente reciben un valor por defecto de 0 o 1. Este índice es ampliamente utilizado para caracterizar la peligrosidad de los centros volcánicos en función de su historia geológica eruptiva.

2.2.2 Antecedentes de los centros volcánicos en Chile

En la Cordillera de Los Andes de Chile se encuentran más de 100 centros volcánicos de edad pleistocena y holocena, junto con varios campos volcánicos complejos incluyendo sistemas de calderas (González-Ferrán, 1995; Stern et al., 2007). De la totalidad de estos centros, más de 60 volcanes han manifestado actividad eruptiva durante el Holoceno, período que abarca los últimos 11500 años AP (Simkin & Siebert, 1994; González-Ferrán, 1995; Stern et al., 2007). En Chile, estos centros se distribuyen a lo largo de la

cadena andina concentrándose en tres zonas que de norte a sur se denominan: Zona Volcánica Central (ZVC; 14ºS-28ºS), Zona Volcánica Sur (ZVS; 33ºS-46ºS) y Zona Volcánica Austral (ZVA; 49ºS-55ºS) (Figura 2.2.2).

En el norte de Chile, los volcanes pleistocenos y holocenos forman una cadena esencialmente continua, constituyendo los relieves más altos que sobresalen en el borde occidental del Altiplano Andino, entre el volcán Tacora, ubicado cerca del límite entre Chile y Perú (17,5ºS), hasta el Nevado Ojos del Salado (27ºS), constituyendo la parte sur de la Zona Volcánica Central. En la parte chilena de esta zona volcánica se encuentra la caldera gigante de La Pacana (Gardeweg y Ramírez, 1987; Lindsay et al., 2001a, 2001b), junto con varios estratovolcanes y calderas más pequeñas, aún poco conocidos, en un área caracterizada por vastas extensiones de afloramientos de ignimbritas, producidas a partir de erupciones explosivas, condicionadas en parte por la composición andesítica a riolítica de los centros volcánicos de esta zona (Stern et al., 2007). En la Figura 2.2.3 se muestra que los centros eruptivos pleistoceno-holocenos del norte de Chile, pertenecientes a esta zona volcánica, se distribuyen en una franja N-S a NNO-SSE, en el límite entre el Altiplano (15-23ºS)-Puna (23-28ºS) y la precordillera andina, a lo largo del límite oriental de Chile. Los productos volcánicos de los centros de esta zona incluyen depósitos de flujos de ceniza y bloques y flujos piroclásticos de gran extensión areal, así como depósitos de grandes avalanchas volcánicas ubicados a los pies de los edificios volcánicos y en la precordillera, flujos de lava y lava-domo, depósitos de ceniza de caída, principalmente hacia el Este de los centros, aunque también se encuentran depósitos en la Cordillera de la Costa del Norte Grande, y depósitos laháricos principalmente en los valles y quebradas que drenan la cordillera y precordillera andina hacia el Oeste, así como formando parte de abanicos aluviales depositados a los pies de estas unidades morfoestructurales (González-Ferrán, 1995; Sernageomin, 2003; Stern et al., 2007; Figura 2.2.3).

Los volcanes de la Zona Volcánica Sur se encuentran tanto en Chile como en Argentina. En Chile se ubican más de 70 estratovolcanes de edad pleistocena y holocena, junto con varias calderas y cientos de centros eruptivos menores formados de escoria y lava (Stern et al., 2007). Estos forman un arco volcánico continuo a lo largo de las altas cumbres andinas entre los 33,3ºS y los 46ºS, cuyo registro de actividad histórica sugiere al menos una erupción por año en promedio durante los últimos siglos (Stern et al., 2007; Figura 2.2.3). Entre los volcanes más activos se encuentran el Llaima y el Villarrica (Figura 2.2.3), para los cuales se han reportado 80 erupciones a partir del año 1558 (Simkin y Siebert, 1994; Petit-Breuilh, 1994; Petit-Breuilh y Lobato, 1994; Naranjo y Moreno, 2005). Entre los volcanes andinos, la erupción de mayor

magnitud ocurrida en los últimos 100 años corresponde a la del volcán Quizapu en 1932, que habría depositado ceniza de caída incluso en Quinteros y eventualmente en Santiago (Hildreth y Drake, 1992; Figura 2.2.3). De los más de 70 estratovolcanes de esta zona en Chile, al menos 40 han tenido erupciones durante el Holoceno y 20 han tenido erupciones históricas (Stern et al., 2007). Entre estas últimas destacan las erupciones de los volcanes Hudson en 1991 (Naranjo et al., 1993) y Chaitén en 2008 (Lara, 2009). Los productos de composición basáltica a riolítica de los volcanes de esta zona, incluyen flujos de lava, lava-domos, flujos de ceniza y bloques, flujos piroclásticos de gran extensión areal que se encuentran incluso en la Depresión Central entre Santiago y Puerto Montt, así como en la Cordillera de la Costa, depósitos laháricos principalmente en los valles y quebradas que drenan los volcanes hacia el Oeste, así como en abanicos aluviales, alcanzando incluso el borde costero, y depósitos de ceniza, ubicados principalmente hacia el Este de los centros (Figura 2.2.3).

La Zona Volcánica Austral del extremo sur de Chile incluye sólo seis centros volcánicos activos entre los 49ºS y los 54,9ºS, en gran parte desconocidos debido a la dificultad de los accesos por encontrarse varios de ellos rodeados de hielos (Figura 2.2.3). Estos centros han tenido actividad durante el Pleistoceno y Holoceno, y la caída de ceniza asociada a erupciones de gran magnitud ha afectado vastas extensiones en la Patagonia (Stern et al., 2007). Entre los productos de las erupciones de estos volcanes se encuentran depósitos de brechas volcánicas asociadas a flujos piroclásticos y/o lahares, flujos de lava basáltica a dacítica, y depósitos de caída ubicados principalmente al Este de los centros, aunque también al Oeste de éstos (Dreher et al., 2005; Orihashi et al., 2004; Stern et al., 2007).

La Figura 2.2.3 muestra una compilación de los volcanes activos en Chile y de la cartografía de las unidades geológicas pleistocena-holocenas a partir del mapa geológico escala 1:1.000.000 del Sernageomin, basada en González-Ferrán (1995), en Stern et al., (2007) y en el *Smithsonian's Global Volcanism Program (2009)*, cuya base de datos es actualizada en forma permanente.

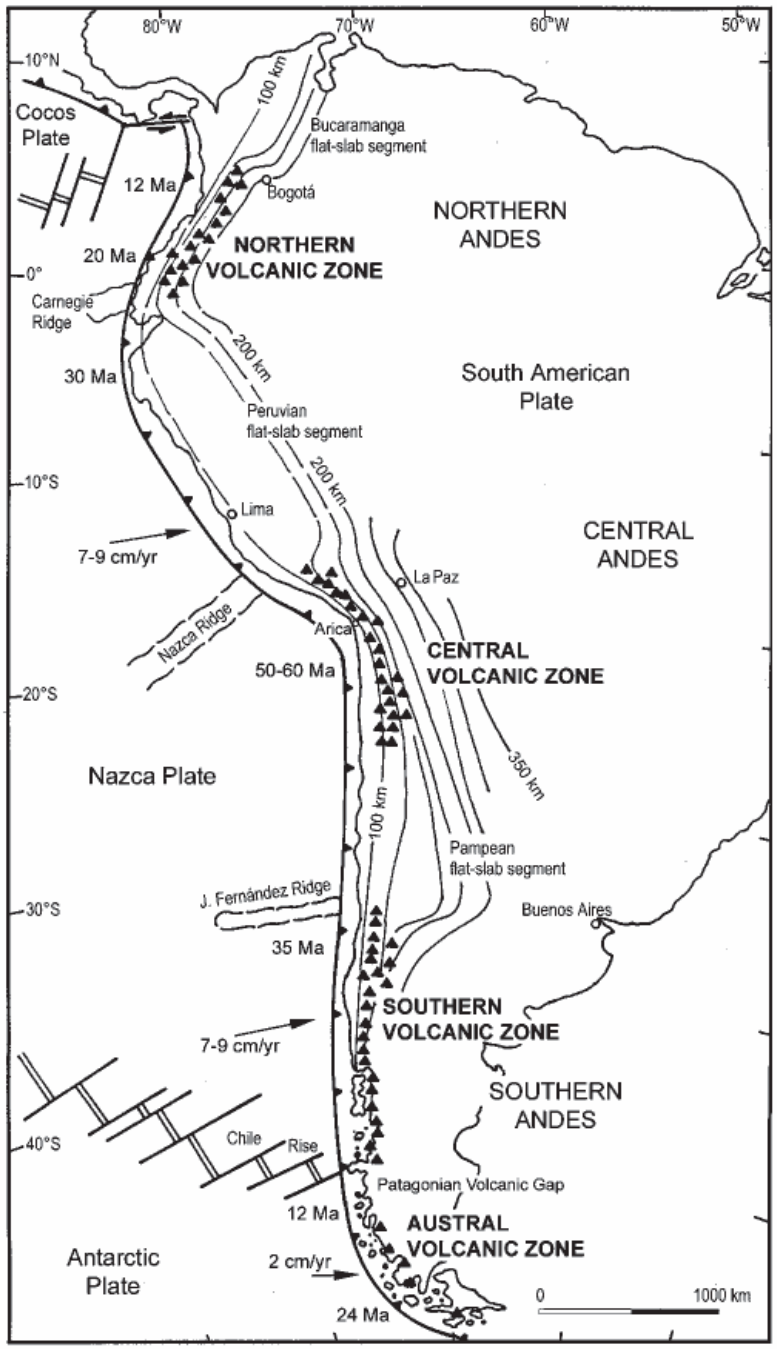


Figura 2.2.2. Ubicación de zonas volcánica de Sudamérica y contexto tectónico, según Stern (2004). Se muestran cuatro zonas volcánicas en Los Andes: Zona Volcánica Norte, Zona Volcánica Central, Zona Volcánica Sur y Zona Volcánica Austral. Se indican también las velocidades y los vectores asociados a la subducción de las placas de Nazca y Antártica bajo la placa Sudamericana.

Figura 2.2.3. Compilación de los volcanes activos en Chile, basada en González-Ferrán (1995), Stern et al. (2007), en la compilación del *Smithsonian's Global Volcanism Program (2009)*, cuya base de datos es actualizada en forma permanente, y en el mapa geológico escala 1:1.000.000 del Sernageomin (2003).

2.2.3 Principales centros volcánicos en Chile y sus productos

En la Tabla 2.2.2 se resumen los principales centros volcánicos activos de Chile, así como los productos reportados a escala del Pleistoceno y Holoceno, según la compilación de Stern et al. (2007) y basada en el mapa del Sernageomin (2003).

Tabla 2.2.2. Principales centros volcánicos en Chile y sus productos conocidos, según la compilación de Stern et al. (2007) y el Mapa Geológico 1:1.000.000 del Sernageomín (2003). Ubicación en la Figura 2.2.3.

Zona Volcánica Central			
Volcán	**Productos pleistoceno-holocenos conocidos; composición**	**Erupciones holocenas (e históricas)**	**Referencias (en Stern et al., 2007)**
Tacora	Lavas, lavas-domo, depósitos de flujos de ceniza y bloques, avalanchas de detritos; dacítico a andesítico	Actividad desde el Plesitoceno medio, actividad fumarólica permanente; actividad sísmica; posibles erupciones en los años 1930 y 1937	Simkin&Siebert, 1994; Clavero et al., 2005; 2006
Parinacota	Lavas, lava-domos, depósitos de flujos piroclásticos, gnimbrita, flujos de ceniza y bloques, tefra de caída, avalanchas de detritos, lahares; riolítico a andesítico, algunas lavas basálticas	Actividad holocena a partir de morfología y depósitos; leyenda Aymará sugiere erupciones pre-históricas	Wörner et al., 1988; 2000b; Davidson et al., 1990; Clavero et al., 2002; 2004a; Hora et al., 2004; Entenmann, 1994)
Tarapaca	Lavas, lava-domos, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, flujos de ceniza y bloques, avalanchas de detritos, blasts, lahares; dacítico a andesítico	Actividad pleistocena tardía-holocena	Wörner et al., 2000b; Clavero et al., 2004b
Guallatiri	Lavas, lava-domos; depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, flujos de ceniza y bloques, tefra de caída; andesítico a dacítico	Actividad pleistocena tardía-holocena; varias erupciones durante los siglos 19 y 20; emisión permanente de gases	Simkin&Siebert, 1994; garcía et al., 2004

Irruputuncu	Lavas, lava-domos, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, flujos de ceniza y bloques; andesítico a dacítico	Actividad durante el Pleistoceno tardío y Holoceno; probable erupción en 1989; emisión permanente de gases	Simkin&Siebert, 1994; Clavero et al., 2005;
Ollagüe	Lavas, lavas-domo, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, flujos de cenizas y bloques, avalancha de detritos, tefra de caída; riolítico a andesítico	Actividad pleistocena y holocena, actividad fumarólica permanente, probable erupción en 1903	Simkin&Siebert, 1994; Clavero et al., 2005; Feeley et al., 1993; Feeley&Davidson, 1994; Clavero et al., 2004c
San Pedro	Lavas, lava-domos, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, avalancha de detritos, andesítico a dacítico, basalto-andesitas en menor proporción	Actividad pleistocena y holocena; varias erupciones durante los siglos 19 y 20; emisión permanente de gases	Simkin&Siebert, 1994; O'Callaghan&Francis, 1986; Francis et al., 1974
Láscar	Lavas, lavas-domo, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, flujos de cenizas y bloques, avalancha de detritos, tefra de caída, lahares; andesítico a rio-dacítico	Actividad durante el Plesitoceno y Holoceno; más de 15 erupciones de diferente magnitud durante el siglo 20, la más importante el año 1993	Simkin&Siebert, 1994; Gardeweg et al., 1998b; Matthews et al., 1997;1999; Gardeweg&Lindsay, 2004; Guarinos&Guarinos, 1993; Gardeweg&Medina, 1994; Calder et al., 2000; Naranjo et al., 2006; Amigo&Gallardo, 2004; Amigo et al., 2006; Basso et al., 2004
Socompa	Lavas, lavas-domo, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, tefra de caída, avalancha de detritos; andesítico a dacítico	Actividad durante el Pleistocena tardío y Holoceno	De Silva&Francis, 1991; Déruelle, 1978; Wadge et al., 1995; Francis&Wells, 1988; Francis et al., 1985, Wadge et al., 1995; van Wyk de Vries et al., 2001
Llullaillaco	Lavas, lavas-domo, depósitos de flujos de cenizas y bloques, avalancha de detritos; dacítico	Actividad durante el Pleistoceno y Holoceno; tres erupciones durante el siglo 19	Simkin&Siebert, 1994; Gardeweg et al., 1984; Zapettini&Blasco, 1998; Richards&Villeneuve, 2001; de Silva&Francis, 1991

Lastarria	Lavas, lavas-domo, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbrita, flujos de cenizas y bloques, avalancha de detritos, tefra de caída; dacítico a andesítico	Actividad pleistocena tardía-holocena; actividad fumarólica	Naranjo, 1988; 1992; Naranjo&Francis, 1987)
Nevado Ojos del Salado	Lavas, lavas-domo; andesítico a riodacítico	Actividad en el Pleistoceno y Holoceno; reportes de actividad fumarólica en los 80's	Simkin&Siebert, 1994; Gardeweg et al., 1997; 1998a; 1999; González-Ferrán et al., 1985; Baker et al., 1987b
Nevado Tres Cruces	Lavas, lavas-domo, calderas, depósitos de flujos piroclásticos, tefra de caída; dacítico a riodacítico	Actividad pleistocena tardía	Simkin&Siebert, 1994; Gardeweg et al., 1997; 1999; 2000; González-Ferrán et al., 1985
Zona Volcánica Sur			
Tupungato-Tupungatito	Lavas, lahares; andesítico	Actividad pleistocena-holocena; actividad sulfatárica; erupción en 1987	
Marmolejo-San José	Lavas, lahares; andesítico	Actividad pleistocena-holocena; actividad sulfatárica; erupción en 1960	Hildreth&Moorbath, 1988; López-Escobar et al., 1985;
Diamante-Maipo	Lavas, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbritas, calderas, lahares; andesítico-riolítico	Actividad pleistocena-holocena; actividad sulfatárica; erupción en 1912	Stern et al., 1984a; Hildreth et al., 1984; Sruoga et al., 2005
Tinguiririca-Fray Carlos	Lavas, conos de escoria; basalto-andesítico	Actividad pleistocena-holocena; actividad sulfatárica; erupción en 1917	Arcos et al., 1988
Complejo Planchón-Peteroa-Azufre	Lavas, avalanchas de detritos, tefra de caída, conos de escoria; basáltico-dacítico	Actividad pleistocena-holocena; erupciones en 1837, 1991 y 1998	Naranjo et al., 1999a; Naranjo&Haller, 2002
Complejo Descabezado Grande-Quizapu-Azul	Lavas, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbritas, tefra de caída; andesítico-dacítico-riolítico	Actividad pleistocena tardía-holocena; erupciones durante el siglo 19 y en 1932	Larsson, 1937; Hildreth et al., 1984; Hildreth&Drake, 1992
Complejo San	Lavas, conos de	Actividad pliocena-	Dungan et al., 2001

Pedro-Tatara-Pellado	escoria, caldera, avalancha de detritos; basalto-andesítico	pleistocena-holocena; actividad fumarólica	
Complejo Nevados de Chillán	Lavas, caldera, depósitos de flujos piroclásticos, conos piroclásticos, tefra de caída, lahares, ; andesítico-dacítico	Actividad pleistocena-holocena; erupciones en 1861, 1906-45, 1973-86, 2003	Dixon et al., 1999; Naranjo et al., 1994a; Naranjo&Lara, 2004
Antuco	Lavas, avalancha de detritos, lahares; andesítico	Actividad pleistocena tardía-holocena; al menos 17 erupciones históricas, las últimas en 1853 y en 1911	
Callaqui	Lavas, depósitos de flujos piroclásticos, lahares; andesítico a basalto-andesítico	Actividad pleistocena tardía-holocena; al menos 5 erupciones históricas, la última en 1980; actividad sulfatárica	Naranjo et al., 1999b
Copahue	Lavas, lavas-domo, depósitos de flujos piroclásticos, tefra de caída, lahares; andesítico a andesitico-basáltico, subordinadamente riolítas	Actividad pleistocena-holocena; actividad reciente	Polanco, 2003; Polanco, 1998; 2003; Polanco et al., 2000; Petit-Breuilh, 1996; Martini et al., 1997; Delpino&Bermúdez, 1993; 1994; Naranjo&Polanco, 2004; Naranjo et al., 200a; Varekamp et al., 2001
Lonquimay	Lavas, depósitos de flujos piroclásticos, tefra de caída, conos de escoria; andesítico a andesítico-basáltico, en menor medida basaltos y dacitas	Actividad holocena; al menos 7 erupciones históricas, la última en 1988-89	Moreno&Gardeweg, 1989; Naranjo et al., 2000a, b; Gardeweg et al., 1990; Naranjo et al., 1992
Llaima	Lavas, depósitos de flujos piroclásticos, ignimbritas, tefra , de caída; conos de escoria, lahares; basalto-andesítico a dacítico	Actividad pleistocena tardía-holocena; 50 erupciones desde 1640, la última en el año 2008	Petit-Breuilh&Lobato, 1994; Naranjo&Moreno, 1991; 2005; Moreno&Naranjo, 1989; 1991; 2003
Villarrica	Lavas, lavas-domo, tefra de caída, caldera, depósitos de	Actividad desde el Pleistoceno Medio hasta el Holoceno; más	Petit-Breuilh, 1994; Petit-Breuilh&Lobato, 1994; Simkin&Siebert, 1994;

	flujos piroclásticos, ignimbritas, lahares; basáltico a andesítico basáltico y dacítico	de 30 erupciones históricas, las más importantes en 1948-49, 1963-64, 1971-72 y 1984	Clavero&Moreno, 1994; 2004; Moreno&Clavero, 2006; Gaytán et al., 2005; Clavero, 1996; Silva et al., 2004; Moreno, 1993; 2000; González-Ferrán, 1995; Rivera et al., 2006; Calder et al., 2004; Witter&Delmelle, 2004; Witter et al., 2004; Witter&Delmelle, 2004
Quetrupillán	Lavas, lavas-domo, caldera, conos piroclásticos, depósitos de flujos piroclásticos, tefra de caída; andesítico a dacítico	Actividad pleistocena-holocena; al menos una erupción histórica, en 1872	Pavez, 1997; Naranjo, 2004; Pavez et al., 2004; Lara&Moreno, 2004; Simkin&Siebert, 1994
Complejo Mocho-Choshuenco	Lavas, depósitos de flujos piroclásticos, tefra de caída, conos de escoria, lahares; basalto-andesítico a andesítico y dacítico	Actividad pleistocena-holocena; última erupción en 1864	Naranjo et al., 2001a,b; Echegaray et al., 1994; Echegaray, 2004; Pérez, 2005; Rivera et al., 2005
Carrán-Los Venados	Conos y maares piroclásticos; basáltico a basalto-andesítico	Actividad holocena; erupciones en 1907 y 1955	Moreno, 1977; Rodríguez et al., 1997; Campos et al., 1998; Lara et al., 2006b
Cordón Caulle-Puyehue	Caldera, piroclastos de caída, lavas; andesítico a dacítico, riodacítico	Actividad pleistocena-holocena; erupción en 1960	Moreno, 1977; Lara et al., 2006a,b; Lara et al., 2004b; Sepúlveda et al., 2004
Osorno	Lavas, tefra de caída y conos de escoria, lahares, depósitos de flujos piroclásticos; basáltico-andesítico	Actividad pleistocena-holocena; al menos 10 erupciones históricas, la última en 1835	Moreno et al., 1979; 1985; López-Escobar&Parada, 1991; Petit-Breuilh, 1999
Calbuco	Lavas, lavas-domo, avalancha de detritos, tefra de caída, depósitos de flujos piroclásticos, flujos de cenizas y bloques, lahares; andesítico	Actividad pleistocena-holocena; 11 erupciones históricas, la última en 1961	López-Escobar et al., 1992; 1995b; Hickey-Vargas et al., 1995; Moreno et al., 1985; Petit-Breuilh, 1999; Moreno&Naranjo, 2004
Yate	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena	Stern et al., 1976b; Futa&Stern, 1988; Lopez-Escobar et al., 1993; D´Orazio et al., 2003; Narano&Stern, 1998; 2004; Best, 1992; Naranjo

			et al., 1993b; Lara, 2009; Reich et al., 2009
Hornopirén	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena?	
Huequi	Cono piroclástico	Actividad holocena	
Michinmahuida	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena; erupciones en 1742 y 1834-35	
Chaitén	Lava-domo, caldera; riolítico	Actividad holocena; erupción durante el año 2008	
Corcovado	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena	
Yanteles	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena	
Melimoyu	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena	
Mentolat	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena	
Cay	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena	
Macá	Estratovolcán compuesto; lavas, tefra de caída, lahares	Actividad holocena	
Hudson	Caldera, tefra de caída, lahares	Actividad pleistocena-holocena; erupciones en 1971 y 1991	Naranjo et al., 1993b; Naranjo&Stern, 2004; Naranjo&Stern, 1998; Stern, 1991d; 2007; Best, 1992; Orihashi et al., 2004

Zona Volcánica Austral			
Lautaro	Estratovolcán compuesto; lavas, lahares, tefra de caída	Actividad pleistocena-holocena; erupción histórica en 1959	Harambour, 1988;Puig et al., 1984; Martinic, 1988; Heusser et al., 1989; Dreher et al., 2005; Orihashi et al., 2004; Stern, 1990b; 1992; 2000; 2007; Kilian et al., 2003; Motoki et al., 2003; 2006
Viedma	Estratovolcán	Actividad	

	compuesto; tefra de caída	holocena	
Aguilera	Estratovolcán compuesto; tefra de caída	Actividad holocena	
Reclus	Estratovolcán compuesto; tefra de caída	Actividad holocena	
Monte Burney	Estratovolcán compuesto; lavas, depósitos de flujos piroclásticos, blast, tefra de caída	Actividad pleistocena-holocena	
Cook Island	Complejo de lavas-domo	Actividad holocena	

2.2.4 Principales erupciones holocenas e históricas en Chile, radios de influencia de procesos volcánicos y restricciones genéricas

Entre las mayores erupciones registradas en el Holoceno (últimos 11500 años) según el *Smithsonian's Global Volcanism Program (2009)*, se encuentran las erupciones del Monte Burney (7450 ±500 AC; VEI=5), Chaitén (7420 ±75 AC, Formación de Caldera; 2008-May 2 AD, VEI=4), Llaima (6880 ±75 AC, VEI=5; 1640-Feb. AD, VEI=4), Villarrica (6990 AC, Pliniana; 1810 ±200 AC, VEI=5), Puyehue-Cordón Caulle (5080 ±150 AC, VEI=5; 860 ±75 AD, VEI=5), Hudson (4750 AC, VEI=6; 1890 AC, VEI=6; 1991-Aug. 12 AD, VEI=5), Aguilera (1250 ±150 AC, VEI=5), Antillanca (960 ±150 AC, VEI=5; 230 ±200 AC, VEI=5), Sollipulli (920 ±75 AC, VEI=5), Osorno (420 ±100 AD, VEI=4), Planchón-Peteroa (1762-Dec 3 AD, VEI=4), Calbuco (1893-Jan 10 AD, VEI=4), Quizapu (Cerro Azul; 1932-Apr. 10 AD, VEI=5), Carrán-Los Venados (1955-Jul. 27 AD, VEI=4), y Lascar (1993-Jun. 27 AD, VEI=4).

Las mayores erupciones ocurridas en Chile durante el siglo 20 y destacadas por el *Smithsonian's Global Volcanism Program (2009)* son las del volcán Quizapu (1932-Abril; VEI= 5), del sistema Carrán-Los Venados (1955-Jul 27; VEI= 4), la del volcán Hudson (1991-Aug; VEI= 5), la del volcán Láscar (1993-Jun 27, VEI= 4) y la reciente erupción del volcán del volcán Chaitén (2 de Mayo de 2008; VEI= 4). En todos estos casos, la dispersión de ceniza desde la columna eruptiva afectó vastas extensiones principalmente hacia el Este de los centros, pero también hacia el Oeste, incluyendo también Santiago (Larsson, 1937; Cofré, 1956; Hildreth & Drake, 1992; Viramonte et al., 1993; Naranjo & Stern, 1998; Lara, 2009; Reich et al., 2009; Figura 2.2.3). Esto último en el caso de la erupción del Quizapu en 1932, y eventualmente también en 1955 asociado a la erupción del Nilahue, en el sistema Carrán-Los Venados (Larsson, 1937; Cofré, 1956; Hildreth & Drake, 1992).

La observación de la geología escala 1:1.000.000 del mapa del Sernageomin, junto con los antecedentes de los volcanes activos compilados en González-Ferrán (1995) y Stern et al. (2007), sugiere que en el centro y sur de Chile los productos volcánicos se encuentran principalmente en la Cordillera Principal de la cadena andina, pero también en la Depresión Central e incluso alcanzan la Cordillera de la Costa. Por otro lado, en el Norte Grande del País la cadena de volcanes activos se encuentra más alejada de la costa, implicando que sus productos se ubiquen principalmente en la Cordillera Principal, la precordillera y la parte oriental de la Depresión Central. Esto, aún cuando depósitos pleistocenos de tefra de caída se encuentran incluso en la

Cordillera de la Costa, probablemente asociados al transporte hacia el oeste de ceniza por vientos de altura durante erupciones de gran magnitud.

Las coladas de lava se encuentran supreditadas en general en un radio de algunas docenas de kilómetros en torno a los centros volcánicos. Por otro lado, en un rango mayor, desde unas docenas de kilómetros hasta del orden de 120 km de distancia desde los centros volcánicos, aún es posible encontrar depósitos de avalanchas de detritos, flujos piroclásticos y lahares; estos últimos pueden encontrarse aún más lejanos a los centros, encauzados en quebradas y valles fluviales conectados con el sistema de drenaje de los volcanes.

Los depósitos de caída de tefra se encuentran principalmente hacia el Este de los centros volcánicos, como producto del predominio de los vientos del Oeste en la troposfera a lo largo del territorio nacional continental. Sin embargo, también se encuentran depósitos de ceniza en regiones costeras de Chile, debido a la ocurrencia de sistemas frontales así como de vientos locales desde la cordillera hacia el mar, que han dispersado ceniza volcánica hacia el Oeste y en la dirección N-S respecto de los centros volcánicos.

2.2 Peligro volcánico 1
2.2.1 Introducción 1
2.2.2 Antecedentes de los centros volcánicos en Chile 3
2.2.3 Principales centros volcánicos en Chile y sus productos 8
2.2.4 Principales erupciones holocenas e históricas en Chile, radios de influencia de procesos volcánicos y restricciones genéricas 15

2.3.2 Fallas potencialmente activas

Estudios recientes indican que en Chile, los terremotos superficiales, asociados a la actividad de fallas geológicas, son frecuentes. La actividad asociada al Sistema de Fallas Liquiñe-Ofqui que generó el enjambre sísmico de Aysén y que culminó en el terremoto de abril de 2007 (Mw=6,2) y los terremotos de Chusmiza de 2001 (M= 6.3) y de Curicó en 2004 (M = 6.4), son ejemplos recientes de la actividad asociada a fallas geológicas. Los terremotos corticales de este tipo causan importantes daños en los sectores cercanos y por lo tanto su comprensión es relevante para una adecuada evaluación del peligro sísmico.

En este informe se identifican, a partir de los antecedentes existentes, las estructuras geológicas potencialmente sismogénicas existentes a lo largo del país y se revisan y consideran las normas internacionales referentes a la ubicación de instalaciones nucleares en las cercanías de fallas activas.

Finalmente, se recomienda la realización de estudios de peligro y riesgo que serían necesarios realizar, como parte de los futuros estudios de emplazamiento.

2.3.2.1 Metodología

Con el fin de construir un marco sismotectónico general para todo el país se siguió la siguiente metodología:

- Recopilación y análisis de la información referente a fallas potencialmente activas en Chile.

La literatura referente a fallas en Chile es muy abundante. Sin embargo, las fallas más recientes, o con actividad cuaternaria, han sido consideradas en estudios realizados solamente a partir de los años 90 en adelante. En este sentido, en la selección de los antecedentes a analizar se privilegiaron los documentos más recientes, los cuales además, incorporan la información más antigua. La información fue obtenida de revistas científicas nacionales e internacionales y de documentos inéditos disponibles en el Servicio Nacional de Geología y Minería, en la biblioteca del Departamento de Geología de la Universidad de Chile y en Internet. Una síntesis de los trabajos más relevantes para este estudio son presentados en Antecedentes. Una lista de todos los trabajos revisados se incluye en las referencias.

En esta fase se revisaron además, las normas internacionales, muchas de las cuales están disponibles en la biblioteca de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). De estos documentos se han extraído las recomendaciones y procedimientos que deben ser considerados respecto a fallas potencialmente activas en lugares donde se pretende desarrollar un proyecto nuclear. Los contenidos más relevantes respecto al tema tratado en este capítulo son presentados, en detalle, en los requerimientos asociados a fallas potencialmente activas (2.3.2.2). Los documentos revisados en esta fase se listan a continuación:

International Atomic Energy Agency (IAEA-OIEA)
- Site evaluation for nuclear installations, Safety Requirements (N°. NS-R-3).
- Evaluation of seismic hazards for nuclear power plants. Safety standards series N° NS-G-3.3. Safety guide. Vienna, 2002.

Nuclear Regulatory Commission
- Code of Federal Regulations. CFR Part 100- Reactor Site Criteria. 2007.

The Japan Atomic Power Company Projects Development Department
- Outline of Construction Procedures of Nuclear Power Plants

- Construcción de un modelo de fallas potencialmente activas

Como parte del estudio, se construyó un modelo de las fallas potencialmente activas en Chile a escala 1: 6.000.000, utilizando como base el mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Chile (Proyecto Internacional de la Litósfera, Lavenu y Thiele, 2000) y el Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes (SERNAGEOMIN, 2008), realizado en el marco del Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las Comunidades Andinas.

2.3.2.2 Recomendaciones IAEA - Safety standards series Nº NS-G-3.3

Bajo los términos del Artículo III de su Estatuto, el OIEA está autorizado para establecer los estándares de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para prever la aplicación de estos estándares para las actividades nucleares pacíficas.

Los estándares resumen los pasos a seguir en un estudio para la instalación de un proyecto nuclear. Las recomendaciones van desde los requerimientos básicos, a escala regional, hasta investigación de sitio.

Las publicaciones regulatorias relacionadas, por medio de los cuales el OIEA establece los estándares de seguridad y medidas, están contenidas en la IAEA Safety Standards Series. Esta serie abarca la seguridad nuclear, seguridad de radiación, la seguridad del transporte y la seguridad de los residuos, y también la seguridad general.

En términos de fallas activas, la IAEA recomienda investigaciones que van desde escala regional a local (de sitio). A continuación se presenta lo considerado pertinente a este estudio, contenido en Safety Standards Series Nº NS-G-3.3.

Investigaciones regionales
En el punto 3.5 señala:
El objetivo de la obtención de datos a escala regional es proporcionar el conocimiento de la configuración geodinámica general de la región e identificar y caracterizar los rasgos geológicos que pueden influir, o se relacionan con la amenaza sísmica en el sitio. Lo más relevante entre las características geológicas son las estructuras que muestran potencial desplazamiento y/o deformación en o cerca de la superficie del suelo, es decir, fallas capaces.

Los datos suelen obtenerse de cualquier tipo de estudios geológicos y geofísicos, publicados o inéditos (por ejemplo, datos derivados de túneles existentes, cortes de carreteras o pozos de agua) y deberán presentarse en mapas y secciones adecuadas. El tamaño de la región relevante variará en función de la configuración geológica y tectónica, y su forma puede ser asimétrica, a fin de incluir fuentes distantes significativas de terremotos. Su extensión radial será típicamente 150 km o más.

En el punto 3.7 indica:
Cuando los datos existentes son inadecuados para el propósito de definir estructuras sismogénicas, en términos de ubicación, extensión y tasa de deformación, puede ser necesario verificar y completar la base de datos mediante la adquisición de nuevos datos geológicos y geofísicos. Esto puede implicar investigaciones a escala (detalle) de la región cercana y de los alrededores del sitio para evaluar las estructuras potencialmente sismogénicas situadas fuera de la región cercana. La identificación de los efectos de terremotos pasados en el ambiente geológico-geomorfológico (es decir, la paleosismología) es también útil para este propósito.

El numeral 3.8 señala:
Los datos se presentan normalmente en los mapas a escala 1:500.000, con secciones apropiadas.

Investigaciones regionales cercanas

A esta escala lo recomendado por la IAEA es:

Numeral 3.9.
Estudios de la región cercana deben incluir un área geográfica en general, de un radio no menor a 25 km, aunque esta dimensión debe ser ajustada para reflejar las condiciones locales. Los objetivos son:

-Definir las características sismotectónicas de la región, en base a una base de datos más detallada que la obtenida del estudio regional;
-Determinar los últimos movimientos de las fallas y, para las fallas de importancia para la evaluación de riesgo sísmico, la cantidad y naturaleza de los desplazamientos, las tasas de actividad y evidencia de segmentación.

Numeral 3.10
Para complementar la información publicada y no publicada sobre estas áreas, las investigaciones específicas normalmente deberían incluir una definición de la estratigrafía, la geología estructural y la historia tectónica de esta región. La historia tectónica debería estar muy bien definida para el régimen tectónico actual, por ejemplo, el Pleistoceno Superior-Holoceno puede ser adecuada para las regiones interplacas, y el Plioceno- Cuaternario para las regiones intraplaca. Dataciones, por cualquier método aplicable, deben ser realizadas. Además del mapeo de terreno, deben ser utilizadas diversas fuentes de datos, por ejemplo:
-Datos del subsuelo derivados de investigaciones geofísicas (como sísmica, de reflexión y refracción, y técnicas gravimétricas, magnéticas y eléctricas),

para caracterizar espacialmente las estructuras identificadas que se consideren pertinentes para la amenaza sísmica en el sitio en términos de su geometría, extensión y tasa de deformación. La utilización de datos de flujo de calor puede ser también necesaria. Estos datos son de primera importancia en el tratamiento de las zonas costa afuera (para los sitios ubicados en o cerca de la costa).

-Datos de superficie obtenidos de estudios de formaciones del Cuaternario o geográficos, tales como el análisis de terrazas y estudios edafológicos y estudios sedimentológicos. Para este objetivo se debería hacer uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

-Para entender el tipo de comportamiento y la tasa de deformación tectónica, también debe ser hacerse uso de los datos obtenidos por medios tecnológicos recientemente desarrollados, tales como datos GPS, datos de interferometría, y datos de mediciones de tasa de strain.

Numeral 3.11
Para algunas estructuras relevantes identificadas en las investigaciones de esta área (regional cercana), puede ser necesario realizar otros estudios geológicos y geofísicos en las vecindades del sitio, a fin de obtener el detalle deseado de caracterización.

Numeral 3.12
Las investigaciones deben hacerse con el suficiente detalle para que las causas de cada uno de los rasgos geológicos y geomorfológicos recientes (en términos de la ventana de tiempo pertinente para el ambiente tectónico local específico) que es relevante – por ejemplo, rasgos topográficos o estructurales lineares estructurales que se encuentran en las fotografías, a distancia de detección de imágenes o datos geofísicos - puede ser adecuadamente incluido en un modelo razonable de la evolución geológica reciente de la zona.

Numeral 3.13
Los datos se presentan normalmente en los mapas a escala 1:50.000, con perfiles adecuados.

Investigaciones en las vecindades del sitio (Estudios en las cercanías)

Numeral 3.14
Estudios en las cercanías deben cubrir un área geográfica habitualmente de 5 km de radio. Además de proporcionar una base de datos aún más detallados

para esta área más pequeña, el objetivo de estas investigaciones es definir con mayor detalle la historia neotectónica de fallas, en especial para determinar el potencial fallamiento superficial del sitio (capacidad de la falla), y para identificar las condiciones de inestabilidad geológica potencial del área del sitio.

Numeral 3.15
Las investigaciones de la vecindad del sitio normalmente deberían incluir mapeos geomorfológicos - geológicos, prospecciones geofísicas sondajes y excavación de zanjas- y debe proporcionar los siguientes datos:
-Un mapa geológico, con secciones;
-Edad, tipo y cantidad de desplazamiento de todas las fallas localizadas en el área, la identificación y caracterización de los lugares que presentan peligros potenciales inducidos por fenómenos naturales (por ejemplo, Karst, hundimientos, deslizamientos) y por actividades humanas. Se debe prestar especial atención a la posibilidad de la sismicidad inducida como resultado de la instalación de grandes presas o embalses, o de la inyección o extracción de fluidos.

Numeral 3.16
Los datos se presentan normalmente en los mapas a escala 1:5.000 con secciones adecuadas.

Investigaciones de sitio

Numeral 3.17
Estudios del sitio deben incluir toda el área cubierta por la planta, que es normalmente un kilómetro cuadrado. El objetivo principal de estas investigaciones es obtener un conocimiento detallado del potencial de desplazamiento permanente del suelo y proveer información de propiedades dinámicas de los materiales de fundación (como velocidades P y S), para ser usados en los análisis de respuesta de sitio.

Numeral 3.21
Los datos se presentan normalmente en mapas a escala 1:500, con secciones adecuadas.

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO SISMOTECTÓNICO REGIONAL

Numeral 4.1
El vínculo entre la base de datos y cualquier modelo de cálculo para derivar niveles de amenaza es un modelo sismotectónico regional, que debe basarse en una fusión coherente de las bases de datos regionales. En la construcción de ese modelo, todas las interpretaciones existentes de la sismotectónica regional que se pueden encontrar en la literatura disponible deben ser tenidas en cuenta. Por encima de todo, una base de datos confiable es esencial en la construcción de un modelo sismotectónico fiable. Cabe señalar que los métodos más sofisticados, no dará buenos modelos, si la base de datos es pobre o insuficiente.

Numeral 4.2
El procedimiento normal consiste en integrar los elementos de la sismología, bases de datos geofísicos y geológicos (véase la sección 3) a fin de construir un modelo sismotectónico coherente (o modelos alternativos) que consiste en un conjunto discreto de estructuras sismogénicas.

Numeral 4.3
Las estructuras sismogénicas identificadas pueden no explicar toda la actividad sísmica observada. Esto porque las estructuras sismogénicas pueden existir sin manifestaciones reconocidas en la superficie o en el subsuelo y por los plazos involucrados, por ejemplo, los desplazamientos de la falla pueden tener periodos de retorno largos con respecto a los períodos de observación sismológica.

Numeral 4.4
En consecuencia, cualquier modelo sismotectónico consiste, en mayor o menor medida, de dos tipos de fuentes sísmicas:
-las estructuras sismogénicas que se pueden identificar mediante el uso de la información disponible en la base de datos;
-sismicidad difusa (que consiste por lo general, pero no siempre, de pequeños a moderados terremotos), que no son atribuibles a las estructuras específicas identificadas usando la base de datos disponible.

Numeral 4.5
La identificación, evaluación y caracterización de las estructuras sismogénicas es descrito en la sección 3. La evaluación y caracterización de estos dos tipos de fuentes sísmicas incluye evaluaciones de incertidumbre. Sin embargo, el segundo tipo, la sismicidad difusa, es un problema particularmente complejo en la evaluación de la amenaza sísmica y en general, implicará una mayor incertidumbre, porque las fuentes de los

terremotos no son bien comprendidas. Una definición completa de estas fuentes implica interpretaciones expertas que son inciertas. La incertidumbre en la interpretación debe ser adecuadamente evaluada, a fin de incorporarla en la evaluación del peligro de movimiento del suelo en el sitio. Esta evaluación en general debería incluir interpretaciones alternativas y la ponderación de cada alternativa en función del grado de apoyo interpretado que ésta tiene en los datos.

Numeral 4.6
Aunque se debe intentar definir todos los parámetros de cada elemento de un modelo sismotectónico, la construcción del modelo debe ser guiado por los datos, y cualquier tendencia a interpretar los datos sólo de forma de apoyar ciertas ideas preconcebidas, debe evitarse.

Numeral 4.7
Cuando es posible construir modelos alternativos que expliquen los datos sismológicos, geofísicos y geológicos observados suficientemente bien, y las diferencias no se pueden resolver por medio de investigaciones adicionales dentro de un plazo razonable, la evaluación final de riesgos debe tener en cuenta todos estos modelos, con un peso adecuado, con el fin de expresar plenamente la incertidumbre contenida en el modelo sismotectónico.

ESTRUCTURAS SISMOGÉNICAS.

Numeral 4.8
La necesidad de identificar las estructuras sismogénicas es en última instancia debido a su importancia para la determinación del movimiento del suelo o el peligro de fallamiento superficial en el sitio.

Numeral 4.9
En cuanto al peligro de movimiento del suelo, la preocupación radica en las estructuras sismogénicas cuya combinación de ubicación y posibilidad de terremotos podría afectar los niveles de movimiento del suelo en el sitio.

Numeral 4.10
En cuanto al peligro de fallamiento superficial, la preocupación radica en las estructuras sismogénicas cercanas al sitio que tienen un potencial de desplazamiento relativo en o cerca de la superficie (es decir, fallas capaces).

Numeral 4.11
La identificación de estructuras sismogénicas se hace sobre la base de que los datos geológicos, geofísicos y sismológicos aportan evidencias directas o

indirectas de que estas estructuras han sido fuente de terremotos en las actuales condiciones tectónicas. La correlación de registros históricos e instrumentales de terremotos con características geológicas y geofísicas es particularmente importante en la identificación de estructuras sismogénicas. La falta de correlación no indica necesariamente que la estructura no es sismogénica.

Numeral 4.12
Cada vez que las investigaciones descritas en la Sección 3 muestran que el hipocentro de un terremoto o un grupo de hipocentros pueden estar potencialmente asociados con una característica geológica, la justificación de la asociación debe ser desarrollada teniendo en cuenta las características del rasgo, su geometría y la extensión geográfica, y su relación estructural con el marco tectónico regional.

Numeral 4.13
Otra información sismológica disponible, como las incertidumbres de los hipocentros, mecanismos focales, esfuerzos y distribución de las réplicas y precursores, deberían ser utilizados considerando cualquier asociación de hipocentros y rasgos geológicos.

Numeral 4.14
Cuando se carece de datos específicos o son escasos, la comparación detallada de una determinada característica geológica, con otros rasgos de la región en términos de edad de origen, sentido de movimiento y la historia del movimiento es esencial.

Numeral 4.15
La incorporación de estructuras sismogénicas en un modelo sismotectónico debe estar firmemente basada en los datos disponibles y debe incorporar las incertidumbres en la definición de estas estructuras. Suposiciones no fundamentadas de las asociaciones entre los terremotos y las características geológicas no debe ser considerado como una evaluación apropiada de la incertidumbre, sobre todo cuando la característica geológica en cuestión es distante del lugar.

2.3.2.3 Eventos sobre centrales nucleares en el mundo

La literatura señala que las plantas nucleares en general están diseñadas para desconectarse de manera segura frente a movimientos sísmicos (WNA, 2009).

En 1995 las plantas más cercanas, ubicadas a unos 110 km al norte de Kobe, no fueron afectadas por el terremoto de Kobe-Osaka, pero en 2004, 2005, 2007 y 2009, reactores japoneses se desconectaron automáticamente debido a que la aceleración superó el umbral establecido.

La planta Kashiwazaki-Kariwa cerró luego de producirse uno de los mayores terremotos al norte de Japón. El epicentro de este terremoto se ubicó sobre una falla, considerada inactiva hasta que se produjo este evento de magnitud 6,8. La planta estaba diseñada para una magnitud 6,5.

Greenpeace ha levantado una discusión con motivo de la instalación de una planta en Akkuyu Bay, Turquía. El lugar se encuentra a 25 km de la Falla Ecemis, una estructura considerada potencialmente activa (Greenpeace, on line). El año 2000 Turquía desestimó el proyecto.

La Tabla 3.2.2.1 muestra algunos ejemplos de sismicidad y centrales nucleares (WNA, 2009).

Tabla 3.2.2.1. Sismicidad y centrales nucleares (WNA, 2009)

País	Año	Terremoto	Magnitud	Daños
Japón	1995	Kobe	7,2	Ninguno en 200 km del epicentro
Taiwan	1999	Chicha	7,6	Tres reactores desconectados
Japón	2005	Miyagi	7,2	Sin daño en la planta
Japón	2007	Nigataken Chuetsu-Oki	6,8	16 km de Kashiwazaki Kariwa. Factores geológicos locales amplificaron la intensidad. PGA de hasta 680 Gal excedió el S1. Cerró.
	2005	Kyushu	7,0	No afectó las plantas cercanas de Kyushu, Genkai, Sendai, Shimane e Ikata
Japón	1994		7,5	Sin daño
Armenia	1988		6,9	Sin daño en plantas a 75 km

1g=980 Gal; 1 Gal =0,001g

El terremoto de Kobe generó aceleraciones de 817 Gal (0,8g, horizontal) y 332 (0.33g, vertical).

En la actualidad hay preocupación por la central nuclear Diablo Canyon en California, debido al descubrimiento de una falla ubicada a menos de una milla de la planta. La Comisión Reguladora Nuclear (NRC) señala que no hay una amenaza adicional, sin embargo, existen dudas respecto a la calidad de la información disponible.

En Nueva York, un grupo de sismólogos sugirió que el riesgo de terremotos en esta ciudad es sustancialmente mayor a lo definido previamente debido a la existencia de fallas activas. Entre otras cosas señalan que las plantas nucleares de Indian Point, a 24 millas al norte de la ciudad, se ubican en la intersección, hasta hora desconocida, de dos zonas sísmicamente activas.

2.3.2.4 Antecedentes en Chile

Armijo y Thiele (1990), a comienzos de los años 90, se encuentran entre los primeros en señalar que algunas estructuras en los Andes centrales occidentales pueden ser activas. Ellos mencionan dos estructuras mayores activas: la Zona de Falla de Atacama, en la Cordillera de la Costa, a la que asignan un mecanismo posiblemente sinistral, y el escarpe costero, que sugieren, pudo haber sido producido por fallamiento normal. Posteriormente a este estudio, muchas estructuras potencialmente activas han sido identificadas en los Andes centro occidentales (ASP, 2009).

Cembrano et al. (2005), documentan el desarrollo progresivo de fallas de segundo y tercer orden formando un duplex entre dos fallas maestras traslapadas en el Sistema de Fallas Atacama (mesozoico). Estas últimas corresponden a las fallas de rumbo sinistral Jorgillo y Bolfin. En este estudio, los autores entregan una descripción del Sistema de Fallas Atacama (AFS).

Lavenu (2005), en el estudio Fallas Cuaternarias en Chile, identifica y caracteriza las fallas neoformadas, junto a aquellas reactivadas durante el Cuaternario en Chile. Reconoce particularmente, que las fallas responden a regímenes tectónicos diferentes. Este documento será la base para este estudio.

Lomnitz (1961) describe los sismos ocurridos el año 1958, con epicentro en el sector de Las Melosas, Región Metropolitana. Estos son los primeros sismos corticales de magnitud importante, registrados como una secuencia de tres sismos de magnitudes (MS) entre 6.7 y 6.9 en un lapso de tiempo de seis minutos, originados en una falla de rumbo y con una profundidad focal entre 6 y 9 km. Estudios recientes calculan para ellos una magnitud MW de 6.3 (Alvarado et al., 2009), aceleraciones máximas aproximadas de 1g e

intensidad máxima (MKS) 9 (Sepúlveda et al., 2008). No se ha encontrado evidencias morfológicas de ruptura de falla en superficie asociada a estos sismos. Estos antecedentes confirman la existencia de sismicidad activa asociada a estructuras corticales superficiales, por otro lado el estudio de Sepúlveda (2008) señala que los sismos superficiales generan las máximas intensidades y aceleraciones en los primeros 10 km de distancia a la zona epicentral, factor que debe ser considerado en las normas de construcción y evaluación de obras de ingeniería.

Rauld (2002) estudia la Falla San Ramón, ubicada en el límite de la depresión central al oriente de Santiago, cartografía su traza, identifica evidencias morfológicas de actividad reciente cómo escarpes de fallas y depósitos no consolidados deformados y fallados, muestra que la falla tiene un mecanismo inverso (asociado a deformación en compresión), estima una tasa de movimiento del orden de entre 0.1 y 0.2 mm/año y señala a esta falla como un factor a tomar en cuenta para la estimación de la amenaza sísmica sobre Santiago. Rauld (2006) muestra que la falla San Ramón presenta evidencias de actividad en las terrazas de los ríos Maipo y Mapocho, lo que junto a la deformación de rocas pertenecientes a la Formación Abanico y a depósitos más recientes, sugiere que la falla ha tenido una actividad continua desde hace unos 25 millones de años. Armijo et al. (2009) proponen a la falla San Ramón como una de las fallas principales dentro del sistema orogénico andino, que corresponde al frente de deformación occidental de la cordillera principal y estiman que puede generar sismos de magnitudes (MW) entre 6.5 y 7.

Farías et al. (2006), estudian el sismo del 28 de Agosto de 2004 (Mw=6.5), uno de los eventos superficiales de mayor magnitud registrado en Chile. El epicentro de este terremoto se ubica en el curso superior del río Teno. Los autores señalan que en la Cordillera Principal de Chile central la sismicidad superficial se concentra a lo largo de una zona elongada de orientación ~NNE-SSE, que coincide con un importante sistema estructural que separa a las series cenozoicas, al W, de las mesozoicas, al E. La sismicidad bajo este lineamiento (Falla El Diablo-El Fierro) no supera los 20 km de profundidad. En este estudio muestran además, la relación de la sismicidad con la geología de superficie y proponen la existencia de un nivel de despegue, asociado a la zona sismogénica, que conectaría el sistema de subducción con los sistemas de deformación orogénica.

González et al. (2006), estudian la Falla Salar del Carmen, considerada la reactivación más tardía del Sistema de Falla de Atacama. Mediante dataciones de ^{21}Ne de origen cosmogénico indican que la reactivación tardía

de esta falla es cuaternaria en edad y restringida a un tiempo más joven que el Pleistoceno medio (< 400 ka). La edad obtenida sugiere una tasa de movimiento más rápida que 0,01mm/año para esta falla.

Cembrano et al. (2007), tratan la interacción entre la actividad tectónica neógena y la evolución del paisaje en el antearco de los Andes centrales y, a partir del análisis cinemático de sistemas de fallas, examinan el campo de esfuerzos dentro de los Andes en el centro y sur de Chile desde el Plioceno.

El Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes (SERNAGEOMIN, 2008), realizado en el marco del Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las Comunidades Andinas, aporta gran cantidad de información recopilada de diferentes autores y condensadas en un mapa, el cual se usará como mapa base en este estudio.

Lavenu y Cembrano (2008), realizan un estudio geológico y estructural detallado de sedimentos recientes en el valle del río Maipo (Cajón del Maipo), al este de Santiago, en el cual muestran la existencia de una deformación en compresión con fallas inversas y pliegues de arrastre contemporáneos. Estas estructuras son cinemáticamente compatibles con una dirección de esfuerzo cercana a N-S (N338°E) que afecta también a las unidades de roca más antiguas (Formación Abanico), sustrato de las terrazas aluviales cuaternarias. Señalan que la sismicidad cortical superficial en la parte interna del antearco (Cordillera Principal) es –al menos en parte- compatible con la dirección de compresión obtenida a partir del análisis cinemático de las fallas mesoscópicas cuaternarias.

Carrizo et al. (2008), documentan la actividad de fallas y el campo de deformación neógena en la Cordillera de la Costa, en las inmediaciones del Salar Grande, en el norte de Chile. Los autores indican que la actividad de fallas se expresa en la forma de escarpes de falla y escarpes de limbo de pliegues. Sobre la base de la orientación de escarpes se definen tres sistemas principales: WNW-ESE, N-S y NNW-SSE. Las fallas de orientación NNW-SSE son del tipo dextral-inverso, en tanto que las fallas N-S y WNW-ESE son del tipo inverso. Mediante dataciones con ^{21}Ne de origen cosmogénico se determina que las fallas dislocan un relieve de edad oligocena-miocena preservado en la Cordillera de la Costa. Valles inactivos, de edades que varían entre 4 y 2 Ma, incididos en este relieve, también se encuentran dislocados por las fallas. Dataciones ^{40}Ar/^{39}Ar de un nivel de ceniza desplazado por una falla de orientación E-W y la deformación de sedimentos asignados al Pleistoceno tardío, sugieren que la actividad de fallas se ha mantenido durante el Cuaternario.

2.3.2.5 Características morfotectónicas generales de Chile

La Cordillera de los Andes entre los 18ºS y 48ºS se orienta NNE-SSW, con ligeras variaciones en el rumbo, pero con grandes variaciones en la configuración morfotectónica (Cembrano et al., 2007). Entre los 18ºS y 28ºS, los Andes consisten, de oeste a este, de Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera y Cordillera Occidental o Cordillera Principal, con el Altiplano y Puna al este (Cembrano et al., 2007).

En la región comprendida entre los 28ºS y 33ºS, donde se sugiere la existencia de "flat slab", no existe volcanismo ni Depresión Central. Al sur de los 33º, los Andes chilenos están formados por Cordillera de la Costa, Valle Central y Cordillera Principal. Al sur de los 39ºS, esta última se denomina Cordillera Patagónica (Cembrano et al., 2007).

En el antearco externo la costa se caracteriza por la existencia de terrazas marinas del Cuaternario, que en Perú se han levantado a más de 780 m s.n.m.(Ortlieb & Macharé, 1990, Cembrano et al., 2007).

2.3.2.6 Fallas activas en Chile

El mapa de la Figura 2.3.2.1 muestra las fallas cuaternarias de Chile de acuerdo a Lavenu (2005). Este autor separa las fallas por sectores:

Zona del Norte Grande, entre los 20 y 26ºS

La Zona de Falla de Atacama o Sistema de Fallas de Atacama (SFA ó AFS), es una zona de falla continua por más de 1.000 km en la Cordillera de la Costa del norte de Chile, entre Iquique (20ºS) y La Serena (30ºS). Corresponde a un sistema de fallas de larga historia, pero que presenta evidencias de reactivación durante el Cuaternario (e.g. González y Carrizo, 2003). El segmento norte del SFA, entre los 20 y 26ºS, sigue sobre unos 600 km, con una morfología bien desarrollada, a veces con escarpes importantes (decenas a centenas de metros). Las partes que presentan más actividad reciente se concentran en la zona del salar Grande y Punta Lobos, en la región de Antofagasta-Mejillones y salar del Carmen, y finalmente al sur en la sierra Remiendos (Lavenu, 2005).

En la Tabla 2.3.2.2 se muestran las características principales de las fallas del sector, ubicadas en la Figura 2.3.2.1.

Tabla 2.3.2.2. Resumen fallas Norte Grande (Lavenu, 2005)

Nombre	Número	Dirección	Movimiento	Edad de la deformación
Salar del Carmen (segmento norte)	1	NNW-SSE	Dextral-inverso	Cuaternario
Salar Grande	2	NW-SE	Dextral-inverso	<10 ka
Punta Lobos	3	NW-SE	Inverso	Cuaternario
Salar del Carmen-La Negra (segmento sur)	4	N20° a 30° E	Normal	Histórica/Holoceno
Morro Mejillones	5	NS a NNE-SSW	Normal	<26 ka
Cerro Gordo	6	N23°E	Normal	Pleistoceno Superior a Holoceno
Cerro Moreno	7	NNE-SSW	Normal	Cuaternario
Graben La Portada	8	NW-SE	Normal	Cuaternario
Cerro Fortuna	9	N5°E	Normal	Cuaternario
Sierra de Remiendos	10	NS	Normal	Cuaternario
"Western Back Thrust" (WBT)	11	NNE-SSW	Inverso	Plioceno o Cuaternario
"Frontal Domeyko Thrust" (FDT)	12	NE-SW	Inverso	Plioceno o Cuaternario
"Ignimbrite Back Thrust" (IBT)	13	NNE-SSW	Inverso	Plioceno o Cuaternario
"Eastern Frontal Thrust" (EFT)	14	NS	Inverso	Plioceno o Cuaternario
"Cordillera de la Sal Frontal Thrust" (CSFT)	15	NE-SW	Inverso	Plioceno o Cuaternario
Tucúcaro	16	NS a NNE-SSW	Inverso	Plioceno o Cuaternario

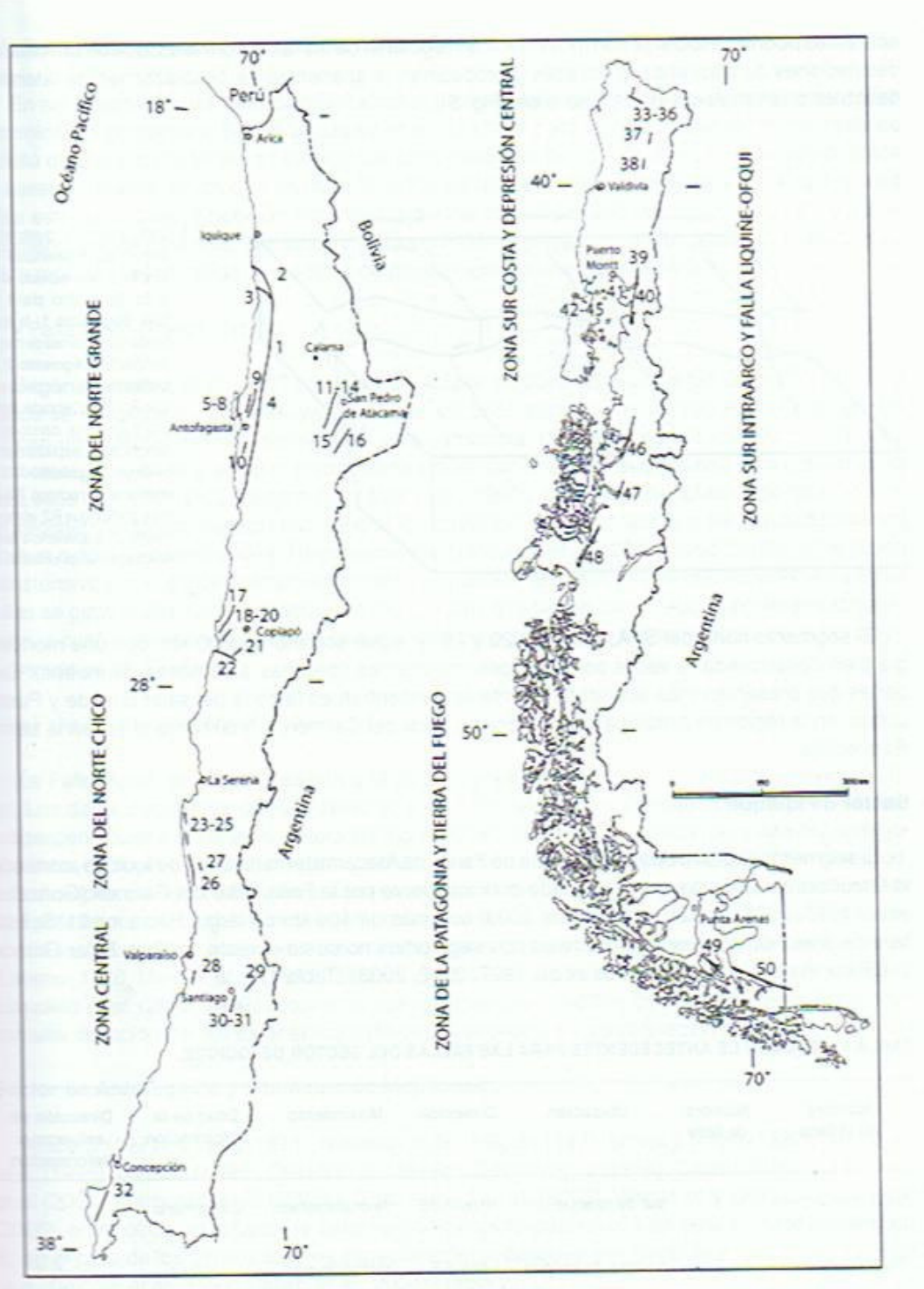


Figura 2.3.2.1. Fallas cuaternarias de Chile. La numeración y su nombre se indica en el texto (Tomado de Lavenu, 2005).

Zona del Norte Chico, entre los 26 y 32ºS

Sector de Caldera

La deformación cuaternaria en esta zona está estrechamente asociada a la evolución de las terrazas marinas. Estudios específicos sobre algunas de estas terrazas confirman que ellas registraron movimientos verticales regionales. En particular, en el área de Caldera existe evidencia importante de deformación cuaternaria frágil (Lavenu, 2005).

Sector de Altos de Talinay y río Limarí

Entre los 30ºS y 31ºS, el sector costero de esta zona del Norte Chico presenta una serie de terrazas marinas, de edad pliocena-cuaternaria, situadas a diferente altura, desde 0 a 200 m s.n.m.(Lavenu, 2005). En estas terrazas existe también evidencia de un régimen de deformación frágil en la forma de bloques alzados o descendidos con expresión en la morfología (Lavenu, 2005).

En la Tabla 2.3.2.3 se muestran las características principales de las fallas del sector, ubicadas en la Figura 2.3.2.1.

Tabla 2.3.2.3. Resumen fallas Norte Chico (Lavenu, 2005)

Nombre	Número	Dirección	Movimiento	Edad de la deformación
Caldera	17	N55ºE	Normal	125 ka
Loreto	18	N40-60ºE	Normal	Cuaternario
Calderilla	19	N20ºE	Normal	Cuaternario Reciente
Bahía Inglesa	20	NNE-SSW	Normal	<125 ka
Alto del Fraile	21	NW-SE y NE-SW	Normal	Cuaternario
Morro Copiapó	22	NE-SW	Normal	Plioceno-Cuaternario
Puerto Aldea	23	N165ºE	Normal?	<480 ka
Palo Cortado	24	NNE-SSW	Normal	125 ka -480 ka
Los Huiros	25	NNW-SSE	Normal	210 ka -480 ka
Limarí	26	NNW-SSE	Normal	<480 ka
Quebrada Teniente	27	N10ºE	Normal	Cuaternario

Zona Central, entre los 32 y 35ºS

En el sector de Valparaíso no se han estudiado estructuras individuales aunque Thorson (2000) sugiere reactivación de fallas del basamento durante el sismo de 1985 y comenta la morfología del estero Marga Marga y otros sectores de la región como de origen tectónico (Lavenu, 2005).

En la Tabla 2.3.2.4 se muestran las características principales de las fallas del sector, ubicadas en la Figura 2.3.2.1.

Tabla 2.3.2.4. Resumen fallas Zona Central (Lavenu, 2005)

Nombre	Número	Dirección	Movimiento	Edad de la deformación
San Antonio	28	NNE-SSW	Inverso	Cuaternario
Antiguo Basural	29	WNW-ESE	Inverso	Cuaternario
Cerro Apoquindo	30	NNW-SSE	Inverso	Cuaternario
San Ramón	31	NNW-SSE	Inverso	Cuaternario

Zona Sur, Costa y Depresión Central entre los 37 y 42ºS

En la Tabla 2.3.2.5 se muestran las características principales de las fallas del sector, ubicadas en la Figura 2.3.2.1.

Tabla 2.3.2.5. Resumen fallas Zona Sur (Lavenu, 2005)

Nombre	Número	Dirección	Movimiento	Edad de la deformación
Curanilahue	32	N170ºE	Normal	Cuaternario?
Esperanza	33	NS y EW	Inverso	Cuaternario
Quilquihuenco	34	EW	Inverso	Cuaternario
Quilquihuenco	34	EW	Normal	Cuaternario
Collipulli	35	N142ºE	Inverso	Cuaternario
Victoria	36	N150ºE	Inverso	Cuaternario

Zona Sur, Intraarco y Zona de Falla Liquiñe Ofqui, entre los 39 y 42ºS

En esta zona, con numerosos volcanes cuaternarios, la traza de la Falla Liquiñe- Ofqui (ZFLO) es observable a gran escala como megalineamientos. La geometría a escala regional de la ZFLO, de dirección norte sur y de más de 950 km de largo, se caracteriza por dos segmentos mayores de dirección NNE que se unen con una serie de lineamientos “en echelon” destrales, de

dirección NE-SW (Hervé y Thiele, 1987; Hervé, 1994). El arreglo resultante fue interpretado como un dúplex de rumbo destral (Cembrano et al., 1996) (Lavenu, 2005).

En el extremo norte de la ZFLO, cerca del volcán Lonquimay, algunos sismos corticales fueron registrados durante y después de la erupción iniciada el 25 de diciembre de 1988. El mecanismo focal de un sismo Mw=5,3 es compatible con una falla norte-sur de rumbo destral (Barrientos y Acevedo, 1992). En el extremo sur de la ZFLO, cerca del volcán Hudson, 25 km al este de la traza principal de la falla, otro sismo cortical fue registrado en noviembre de 1965. La solución del mecanismo focal indica una falla NNE-SSW destral inversa (Lavenu, 2005).

La crisis sísmica de Aysén en el 2007 también se asocia con la actividad de la ZFLO. El evento principal de la secuencia, ocurrido el 21 de Abril, alcanzó una magnitud de 6.3 con un mecanismo focal consistente con una falla de rumbo principalmente norte sur y desplazamiento de tipo dextral. La ubicación epicentral fue determinada con tres estaciones sismológicas, dos de ellas ubicadas a menos de 10 km de distancia del epicentro y una tercera, a más de 80 km. Los resultados obtenidos a partir de estos datos, permiten constreñir el foco del sismo en una franja restringida de ancho 2 km.

En la Tabla 2.3.2.6 se muestran las características principales de las fallas del sector, ubicadas en la Figura 2.3.2.1.

Tabla 2.3.2.6. Resumen fallas Zona Sur, Intraarco y Zona de Falla Liquiñe Ofqui, entre los 39 y 42ºS. (Lavenu, 2005)

Nombre	Número	Dirección	Movimiento	Edad de la deformación
ZFLO en lago Caburgua	37	NE-SW	Rumbo dextral	Cuaternario
ZFLO en cuesta Los Añiques	38	NS	Rumbo dextral	Cuaternario
ZFLO en Reloncaví	39	N10ºE	Rumbo dextral	Cuaternario?
ZFLO en Hornopirén	40	NS a NNE-SSW	Rumbo dextral	Cuaternario
Microfallas del volcán Apagado	41	NNW-SSE y ~EW	Rumbo dextral	Cuaternario

Zona Austral, Chiloé a Magallanes, entre los 42 y 56ºS

En la Tabla 2.3.2.7 se muestran las características principales de las fallas del sector, ubicadas en la Figura 2.3.2.1.

Tabla 2.3.2.7. Resumen fallas Zona Austral, Chiloé a Magallanes, entre los 42 y 56ºS. (Lavenu, 2005)

Nombre	Número	Dirección	Movimiento	Edad de la deformación
Ancud 1	42	EW	Inverso	Cuaternario
Ancud 2	43		Inverso	Cuaternario
Ancud 3	44		Inverso	Cuaternario
Lajas	45	NE-SW a EW	Transtensivo	Cuaternario
ZFLO en Puyuhuapi	46	NNE-SSW	Transpresivo	Cuaternario
Tigre Azul	47	NNE-SSW	Dextral	Cuaternario
ZFLO en laguna San Rafael	48	N10ºE	Normal	Holoceno
Río San Juan	49	NW-SE	Sinistral	Cuaternario
Lago Fagnano	50	N100ºE	Sinistral	Holoceno

En Chile, debido a la ubicación de los terrenos deformados, su repartición en zonas morfoestructurales diferentes y la edad de esa deformación, se ha podido demostrar que las fallas pueden tener características dinámicas y cinemáticas particulares (Lavenu, 2005).

En la Depresión Central, en el antearco, desde Valparaíso hasta la isla de Chiloé, el Cuaternario antiguo es afectado por fallas inversas que son consecuencia de una dirección de compresión aproximadamente norte-sur. A lo largo de la ZFLO, en el intraarco, desde el lago Caburgua hasta la laguna San Rafael, los depósitos del Cuaternario antiguo son esencialmente afectados por fallas de rumbo debidas a una transpresión noreste-suroeste, posterior a los 1,6 Ma. En el extremo sur del continente, las fallas recientes son resultado del desplazamiento de la placa Scotia en relación con la placa Sudamericana (Lavenu, 2005).

Por el contrario, a lo largo de la costa centro y norte de Chile se observan movimientos extensionales de dirección este-oeste, especialmente donde los terrenos son más cercanos a la fosa como en Mejillones, Caldera, Altos de Talinay o la península de Arauco y el origen de esta deformación se asociaría con el ajuste cosísmico que genera alzamiento del bloque costero (Lavenu, 2005).

En muchos casos, la cinemática de las estructuras no es bien conocida ni tampoco su tasa de desplazamiento (Lavenu, 2005).

El último trabajo respecto a fallas potencialmente activas corresponde al Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes (SERNAGEOMIN, 2008). Como se observa en la Figura 2.3.2.2, éste complementa el mapa presentado por Lavenu (2005, mostrado en la Figura 2.3.2.1).

De acuerdo a lo observado en la Figura 2.3.2.2, hay varias zonas a lo largo del país donde se reconoce la existencia de fallas potencialmente activas. Teniendo en cuenta que el país no cuenta con una base de datos completa en lo que se refiere a fallas activas, una vez decidida la zona más probable para la instalación de una central, debería comenzar rápidamente el desarrollo de estudios regionales y de detalle, orientados a determinar la existencia de fallas capaces.

Los estudios deberían orientarse a determinar la existencia de fallas capaces, definir la extensión, la actividad y el desplazamiento.

Figura 2.3.2.2. Fallas activas, modificado del Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes (SERNAGEOMIN, 2008)

2.3.2.7 Restricciones genéricas para el emplazamiento de centrales nucleares.

En la Figura 2.3.2.2, se observa que hay varias zonas a lo largo de Chile donde se reconoce la existencia de fallas potencialmente activas. De acuerdo al OIEA, las centrales nucleares no deben ubicarse en sitios cercanos a fallas capaces. Sin embargo, no se ha encontrado en la literatura una distancia mínima recomendada, excepto en el estudio de Dames & Moores donde se señala que una central no debería ubicarse a menos de 8 km de una falla capaz.

Como muestra la Figura 2.3.2.3, las leyes de atenuación de terremotos corticales comienzan a saturarse a distancias menores a 15-20 km de la fuente, lo que hace que la estimación de aceleraciones a cortas distancias sea poco confiable. Debido a lo anterior, se recomienda no ubicar centrales nucleares a menos de 20 km de una falla capaz.

Teniendo en cuenta que el país no cuenta con una base de datos completa en lo que se refiere a fallas activas, una vez decidida la zona más probable para la instalación de una central núcleo-eléctrica, debería comenzar rápidamente el desarrollo de estudios regionales y de detalle, orientados a determinar la existencia y características de las fallas capaces.

Los estudios deben incluir geología de detalle, medición y análisis de la sismicidad tomada de una red sismológica apropiada, especialmente diseñada para análisis sismotectónico, mediciones de deformación mediante GPS, paleosismología, dataciones de materiales asociados a fallas para determinar la edad de la actividad de la(s) fallas(s), etc.

El modelo sismotectónico obtenido debe utilizarse para la determinación de la aceleración esperada en el sitio y para la cual debe ser diseñada la central.

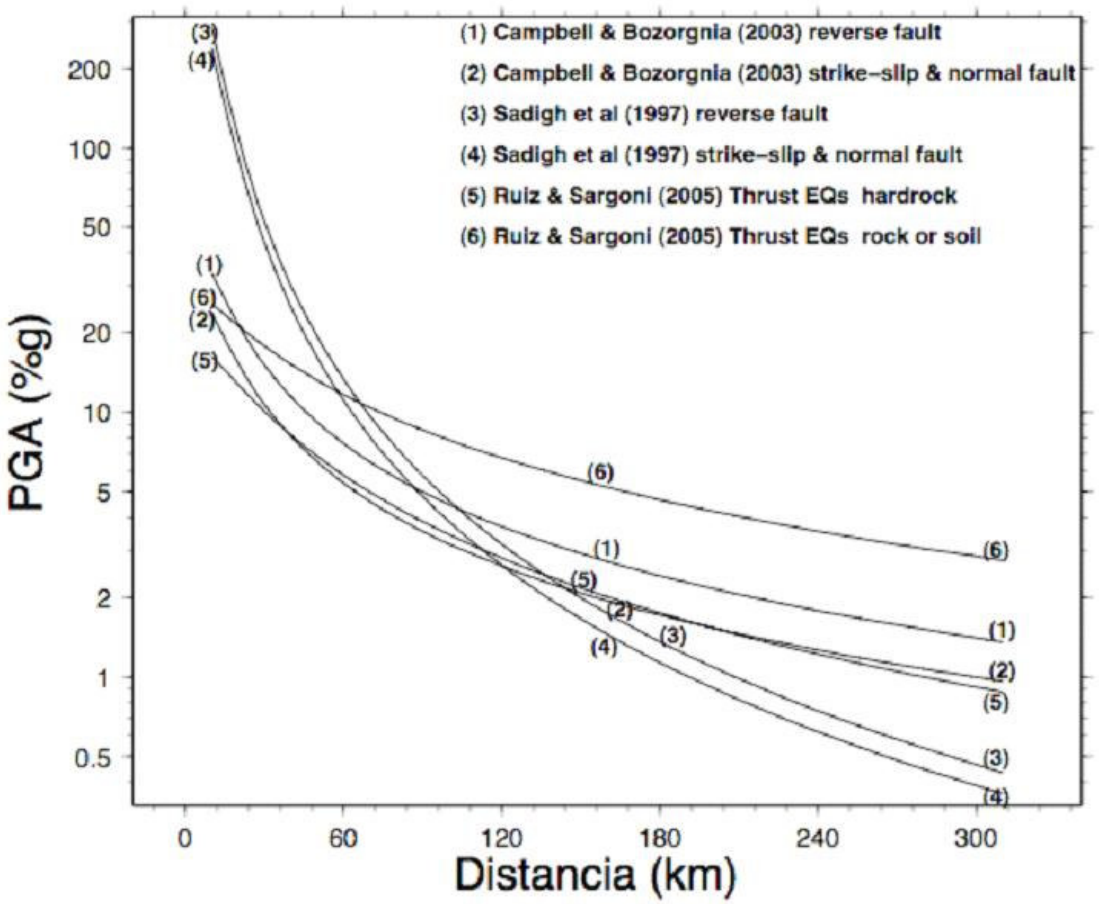


Figura 2.3.2.3. Comparación de leyes de atenuación, evaluadas para un terremoto de magnitud 7.0 a 10 km de profundidad. (Universidad de Chile, 2008).

Indice Parte 2

2.3.2 Fallas potencialmente activas 29
2.3.2.1 Metodología 29
2.3.2.2 Recomendaciones IAEA - Safety standards series N° NS-G-3.3. 31
2.3.2.3 Eventos sobre centrales nucleares en el mundo 37
2.3.2.4 Antecedentes en Chile 39
2.3.2.5 Características morfotectónicas generales de Chile 42
2.3.2.6 Fallas activas en Chile 43
2.3.2.7 Restricciones genéricas para el emplazamiento de centrales nucleares. 52

2.3.3 Tsunamis

2.3.3.1 Introducción

Así como la palabra terremoto se asocia al movimiento súbito que sufre la Tierra debido al paso de las ondas mecánicas bajo el observador, el vocablo maremoto corresponde al movimiento de las aguas del mar originados por desplazamientos verticales bruscos y significativos del fondo marino asociados a la ocurrencia de terremotos , por explosiones volcánicas en el mar, por deslizamientos sub-aéreos o submarinos en las costas o en el talud continental, por explosiones nucleares, por desprendimientos de glaciares, por caída de meteoritos en el mar, etc. Cada uno de estos fenómenos produce perturbaciones en el estado de equilibrio de la superficie del nivel del mar y éste, de manera de recuperar prontamente su equilibrio, distribuye las aguas en todas direcciones de acuerdo al fenómeno que generó la perturbación.

Las olas que visualizamos diariamente en la costa, generadas por el efecto de los vientos sobre la superficie del agua, y los tsunamis poseen características totalmente diferentes en cuanto a sus longitudes de onda, períodos y velocidades; estas últimas pueden alcanzar 10 ó 100 veces las amplitudes de las primeras. Habitualmente, y se puede apreciar en las grabaciones realizadas en relación al avance del mar durante el tsunami de diciembre del año 2004, la llegada del tsunami a la costa es más bien de tipo inundación que de oleaje. Los intervalos de tiempo (períodos) entre ingresiones consecutivas en general son del orden de 20 a 30 minutos.

Más del 95% de los maremotos o tsunamis -vocablo de origen japonés que significa ola de bahía o puerto- son generados por cambios de elevación del fondo oceánico asociados a terremotos. Estos son fenómenos que pueden llevar a perturbar grandes extensiones de océanos, tales como los originados en 1946 en las Islas Aleutianas, 1960 en el sur de Chile y recientemente el 2004 en Indonesia-Islas Andamán (India), se generan en áreas de un par de centenas de kilómetros por cientos, hasta mil, de kilómetros con desplazamientos verticales -bajo el océano- mayores que 10 m.

También en Chile se han observados tsunamis debido a caída de rocas y deslizamientos de tierra en cuerpos de agua. En el más reciente, ocurrido en abril de 2007, se dejaron sentir los efectos del tsunami ocurrido en el Fiordo

Aysén debido a los deslizamientos de tierra, avalanchas y caídas de rocas a causa de un temblor magnitud Mw= 6.2; una descripción de detalle de lo ocurrido se puede encontrar en Sepúlveda y Serey (2009) y Naranjo et al. (2009). De manera similar, otros eventos que han producido maremotos de importancia, sobre los cuales se tiene antecedentes generales, son aquellos ocurridos en noviembre de 1927 en el Canal de Moraleda, en las cercanías del Fiordo Aysén y en diciembre de 1949 en el Estrech de Magallanes, el primero asociado a un sismo magnitud 7.1 y el segundo como respuesta a un doblete de sismos magnitud 7¾ cada uno.

Tres son las variables que determinan la altura de la ingresión del mar en la costa debido a un tsunami producido por un terremoto: a) tamaño de la perturbación inicial, que depende de la ubicación espacial, tamaño y desplazamiento en la falla que genera el terremoto; b) batimetría por el lugar donde se propaga la perturbación, entre sitio de generación y la costa; y c) batimetría y topografía de las regiones cercanas a la costa.

2.3.3.2 Descripción y características de los tsunamis

Varios son los términos que habitualmente se utilizan en la descripción de tsunamis, entre ellos los más destacados son (ver Figura 1):

a) El "run-up", que describe la cota máxima de inundación (el nivel máximo que alcanza el agua cuando ingresa a tierra. Habitualmente se habla de varias ingresiones de agua con períodos del orden de 20 minutos o mayores cuando se trata de un evento asociado a un mega-terremoto en la zona de subducción. Como cada ingresión del mar, dentro de este tren de ondas, tiene asociado su propio "run-up", se utiliza el que registra mayor altura.
b) La inundación horizontal, es decir cuánto se extiende la inundación tierra adentro, expresada en metros o km. Este valor depende, al igual que en el caso anterior, de la batimetría del fondo oceánico y de la topografía de la costa.
c) Extensión de costa que es directamente afectada por la inundación. A modo de ejemplo, los terremotos de Mayo de 1960 tienen asociada una longitud de ruptura del orden de 1000 km, entre la Península de Arauco y la Península de Taitao.

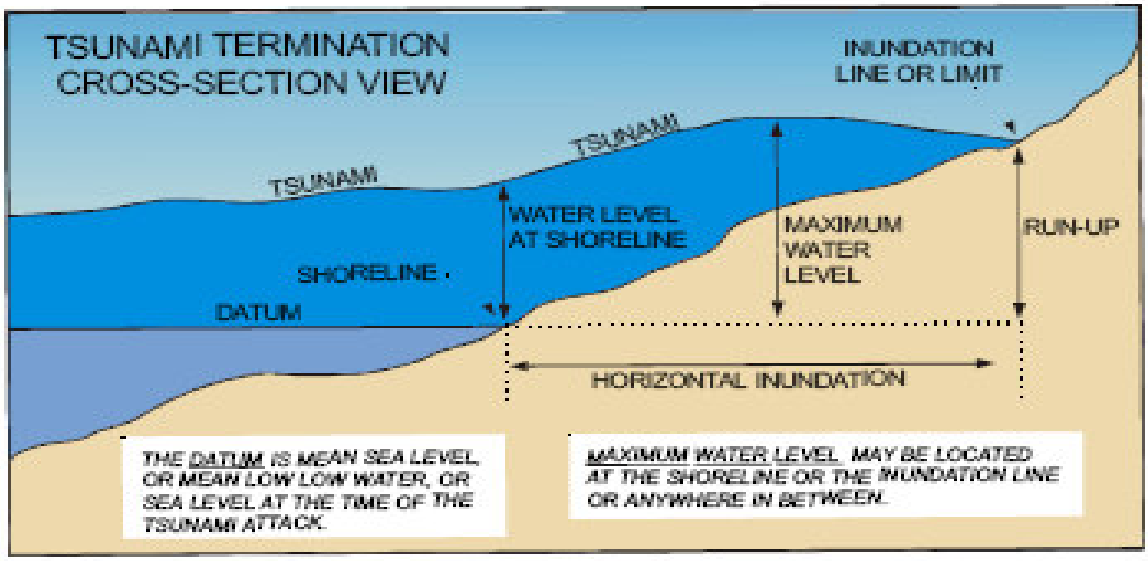


Figura 2.3.3.1. Run-up se define como la cota máxima (en m) de inundación en relación al estado de la marea en ese momento, en tanto que ingresión corresponde a la inundación horizontal.

Varias son las formas de describir y asignarle un tamaño a los tsunamis. De acuerdo a Monge (1993) los descriptores originalmente identificados por Imamura (1949), luego Iida (1959) y Wiegel (1970) se pueden resumir en la Tabla 2.3.3.1. La Magnitud o grado del tsunami queda determinado por las alturas de ola, el "run-up" alcanzado y la descripción del daño que produce.

Tabla 2.3.3.1. Tipos de Tsunamis.

Magnitud	Altura de la ola (m)	Run-up (m)	Descripción de daños
0	1-2	1-1.5	No hay daño.
1	2-5	2-3	Casas inundadas y botes barridos y destruidos.
2	5-10	4-6	Hombres y casas y barcos son barridos.
3	10-20	8-12	Daño se extiende a lo largo de 400 km de la costa
4	> 30	16-24	Daño se extiende a lo largo de más de 500 km de la costa

2.3.3.3 Generación de tsunamis

En el caso de Chile, los tsunamis que se conocen en la historia reciente (últimos 500 años, desde la llegada de los españoles a territorio nacional) han sido, en su gran mayoría originados por la activación de fallas en la zona de subducción entre la fosa y aproximadamente los 50 km de profundidad, en lo que se denomina zona de acoplamiento sísmico entre las placas de Nazca y Sudamérica (que se extiende desde el extremo norte de Sudamérica hasta la Península de Taitao por el sur). Son los grandes terremotos costeros, cuyas zonas de rupturas se encuentran localizadas en profundidad entre la fosa y prácticamente bajo la costa, los que están asociados a tsunamis significativos. En general en Chile los terremotos cuya magnitud es superior a 8 (o longitudes de ruptura mayores que 250 km) son los que producen cambios de elevación significativos en el fondo marino para generar un tsunami. La Fig. 2 evidencia que el cambio de elevación significativo del fondo marino es aquel que ocurre, en general, entre los 20 km y los 180 km de distancia de la fosa, hacia el continente; la forma de esta señal queda definida por la distribución del desplazamiento en la falla y su geometría la

cual se conoce con anterioridad. En Chile, la geometría de la subducción –en los 100 km más superficiales- es muy parecida desde Arica hasta la Península de Taitao. La zona de acoplamiento sísmico posee muy poca pendiente en las cercanías de la fosa hasta alcanzar unos 19° - 20° manteo a los 50 km de profundidad, límite más profundo de la zona de acoplamiento sísmico. En el panel inferior de la Fig. 2 se muestra este plano inclinado como una recta, cuyo origen se encuentra en la fosa. La posición de la costa en Chile varía entre unos 90 a 140 km de la fosa, de modo que en algunos casos, ésta sufre levantamientos y en otros subsidencia. Arica y Valdivia por ejemplo, sufren en general subsidencia con la ocurrencia de este tipo de terremotos, en cambio la Penínsulas de Mejillones, Arauco y Taitao, así como la región de Talinay (ubicada al sur de Tongoy), sufren levantamientos. Quizá el ejemplo más espectacular es el levantamiento de 4 y 6 m de las Islas Guafo y Guamblin en el sur de Chile durante el terremoto de 1960.

En algunos terremotos en Chile, tal como lo fue recientemente el sismo del 14 de Noviembre de 2007, denominado terremoto de Tocopilla, la porción más significativa del desplazamiento en la falla, tuvo lugar bajo el continente (tierra adentro) y no bajo el mar, de modo que la parte de mayor amplitud de la deformación vertical s no se localiza bajo el mar (además el sismo de Tocopilla alcanzó una magnitud Mw=7.7, lo que es muy bajo para generar un tsunami significativo). Es por esto que algunos eventos sísmicos poseen un mayor potencial tsunamigénico que otros. La forma que toma la superficie del agua es muy similar a la que se presenta en la Figura 2.3.3.2 (en realidad es necesario filtrar esta señal por una función $1/cosh(k*h)$ en que k es el número de onda y h es la profundidad (Ward, 2009).

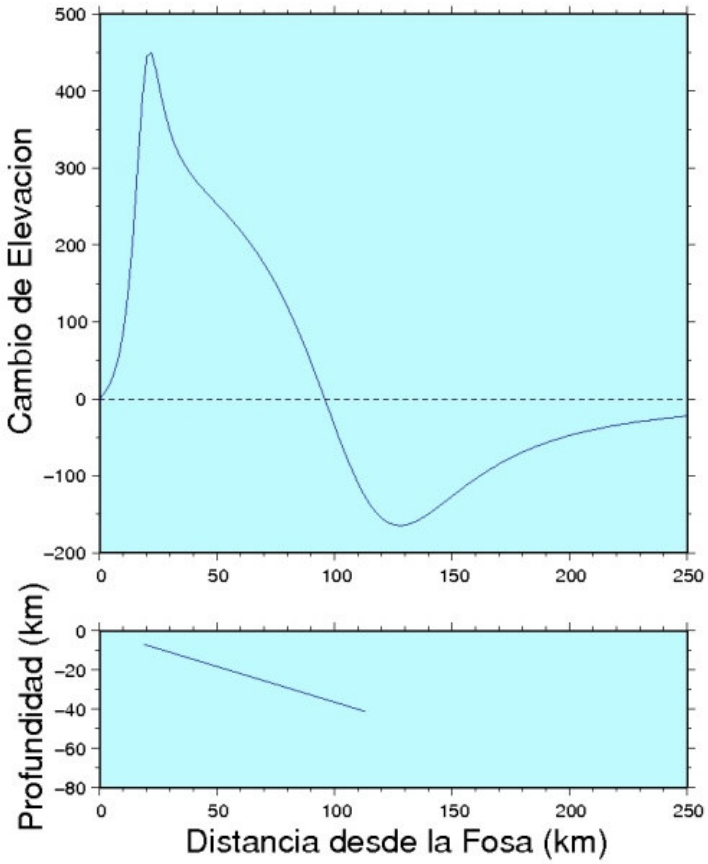


Figura 2.3.3.2. Cambio vertical en mm (panel superior) producido por una dislocación -de 1 m- que se extiende en profundidad a lo largo de la zona de acoplamiento (panel inferior). La fosa se encuentra en el origen (0 km) y la posición de la costa varía entre unos 90 a unos 140 km. Existen innumerables ejemplos de levantamientos y subsidencia de la costa de Chile asociados a la ocurrencia de terremotos.

Los tsunamis más importantes que han afectado las costas de Chile, de acuerdo a Monge (1993) corresponden a aquellos ocurridos en 1604 (Sur de Perú), 1730 (Chile Central), 1868 (Sur de Perú), 1877 (Norte de Chile) y 1960 (Concepción-Península de Taitao). La Tabla 2.3.3.2 muestra un resumen de los tsunamis más importantes que han ocurrido en Chile.

Tabla 2.3.3.2. Tsunamis más importantes que han afectados las costas de Chile (modificados de Monge, 1993)

Localidad	Año	Mag	Máx Run-up
Arauco-Concepcion	1562	3	
Concepción	1570	3	4 m
Valdivia	1575	3	Aparentemente como el de 1960 (Lomnitz,1970)
Sur de Perú	1604	4	16 m en Arica
Concepción	1657	3	4 m
Chile Central	1730	4	Inundación del El Amendral (Valparaíso)16 m Concepción
Concepción	1751	3	3.5 m en Concepción
Copiapó	1819	3	4 m Caldera
Valparaíso	1822	2	3.5 m
Concepcion	1835	3	13 m Isla Quiriquina
Valdivia	1837	3	2 m Ancud
Coquimbo – La Serena	1849	2	5 m Coquimbo
Copiapó	1851	1	3 m en Huasco
Copiapó	1859	2	6 m en Caldera
Sur de Perú	1868	4	20 m en Arica
Norte de Chile	1877	4	21 m Mejillones
Valparaíso	1906	1	1.5 m
Copiapó	1918	2	4 m en Caldera
Copiapó – Vallenar	1922	3	9 m en Chañaral, 7m en Caldera y Coquimbo
Región del Maule	1928	1	1.5 m en Constitución
Illapel	1943	1	1 m en Los Vilos
Sur de Chile	1960	4	25 m en Isla Mocha, 15 en Mehuín, 10 Corral, 10 Ancud
Valparaíso	1985	1	1.5 m
Antofagasta	1995	1	2.8 m
Aysén	2007	Local	Hasta 40 m en Isla Mentirosa

La mayor base de datos de "run-up", y tsunamis significativos para todo el mundo es el sitio mantenido por el National Geophysical Data Center de la NOAA de Estados Unidos: http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml
Esta base de datos, para Chile, incluye los trabajos de otros autores como Montessus de Ballore (1911-1916), Lomnnitz (1970), Silgado (1964) y Soloviev (1984) entre otros.

Debido a la irregular distribución de población en el sur de Perú y norte de Chile no se conoce en detalle las alturas de "run-up" asociadas al evento de 1604. Existe bastante más información respecto a los tsunamis asociados a los terremotos de 1868 y 1877 (ver Figura 2.3.3.3) Nótese que las mayores alturas fueron registradas en Arica, para ambos eventos. Kausel (1986) estima magnitudes del orden de 8.6 a 9 para ambos eventos.

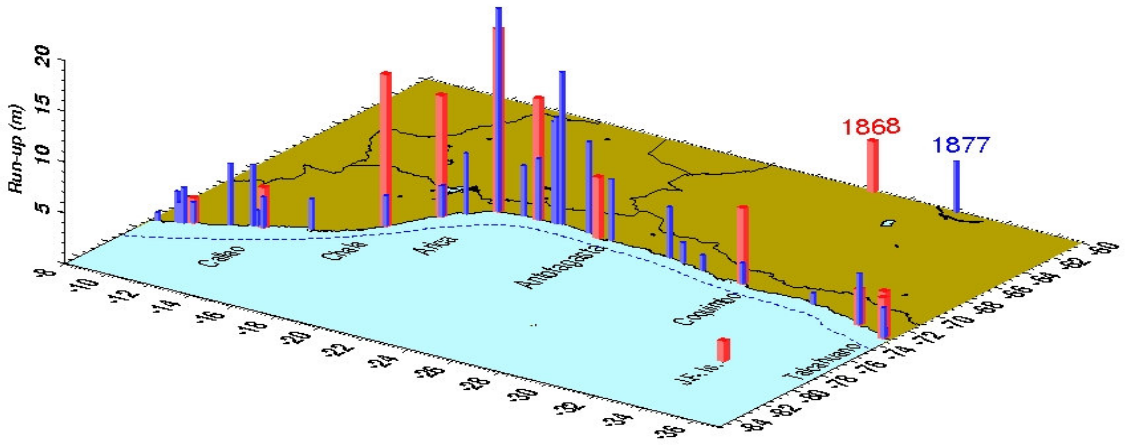


Figura 2.3.3.3. Alturas de "run-up" registradas a raíz de los terremotos de 1868 y 1877 en el sur de Perú y norte de Chile respectivamente.

A mediados de los 1800´s comenzó el desarrollo de los mareógrafos para capturar las observaciones del nivel del mar. Algunos de los primeros en entra en operación se instalaron en la Bahía de San Francisco, en California. Dos de ellos, uno en Sausalito y el otro en Fort Point (Presidio) registraron estos eventos. Como medida de comparación de los tres tsunamis más importantes registrados en los últimos 150 años en Chile se ha incluido el registro de ellos en la estación de Fort Point (Figura 2.3.3.4).

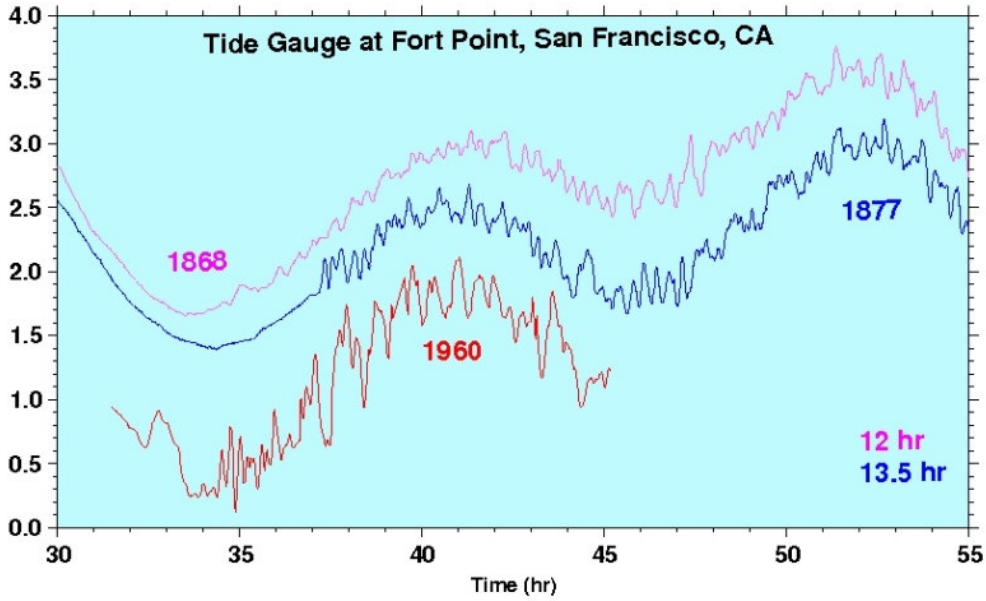


Figura 2.3.3.4. Registros del mareógrafo ubicado en Fort Point, California, para los tres mayores tsunamis que han afectado las costas de Chile en los últimos 150 años.

No es posible comparar los tres eventos en forma directa ya que existe un cambio en la orientación de la falla que origina el evento de 1868 (no hay que olvidar que los tsunamis en su generación "irradian" de manera más eficiente la energía en la dirección perpendicular a la falla causativa creando de esta manera un patrón de radiación). Sin embargo, se puede apreciar el tamaño significativamente mayor del evento de 1960. El tsunami que produjo la activación de la falla que causó el terremoto de 1960 ha sido uno de los eventos más impactantes en la historia del Pacífico, un artículo publicado por Sievers (1963) en el Seismological Society of America Bulletin, describe con detalle las alturas de agua alcanzadas: 25 m en Isla Mocha, 15 m en Mehuín, 10 m en Corral, 10 m en Ancud, 9 m en Puerto Saavedra, 5 m en Talcahuano, 6 m en Isla de Pascua, 1.5 m en Antofagasta y 1.7 m en Valparaíso. En la misma publicación, se puede leer artículos de los efectos del tsunami en el Pacífico. Produjo más de 120 víctimas fatales en Japón, más de 65 en Hawaii y 32 en Filipinas. Este sismo, como los ocurridos en el siglo XIX en el norte de Chile, sin los que han producido mayores run-ups. Es posible pensar que prácticamente toda la costa de Chile, desde Arica hasta la Peninsula de Taitao, se encuentra expuesta a estos niveles de run-ups, tal como lo ha

publicado el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada en sus cartas de inundación para 25 localidades a lo largo de la costa de Chile (ver http://www.shoa.cl/servicios/citsu/citsu.php). Sin embargo, en situaciones especiales, estas amplitudes pueden verse incrementadas debido a la topografía local, de modo que es necesario realizar estudios específicos para cada sitio.

Otros tsunamis reportados han sido aquellos originados por deslizamientos en lugares que presentan topografía abrupta en la zona de fiordos y canales del sur de Chile. El más reciente ejemplo de un tsunami en estas condiciones fue el acontecido el 21 de Abril de 2007, en el Fiordo Aysén. Como consecuencia de un sismo Mw=6.2, deslizamientos –con masas equivalentes a alrededor de 10 millones de metros cúbicos (Sepúlveda et al. 2009, Naranjo 2009)- dieron origen a un tsunami local que afectó las costas del fiordo en las cercanías de Isla Mentirosa causando 10 personas desaparecidas, de las cuales fueron encontradas tres durante las tareas de rescate. Otros reportes de tsunamis locales generados por deslizamientos -que a su vez han sido provocados por sismos- son aquellos de Noviembre de 1927 en el Canal de Moraleda y en Diciembre de 1949 en el Estrecho de Magallanes.

Por último, es necesario también considerar aquellos tsunamis generados lejos de las costas del país. Uno de los más significativos es aquel ocurrido en las Islas Aleutianas en Abril de1946. La altura máxima que alcanzó el agua en la Isla de Juan Fernández fue 9.5 m, en tanto que el Valparaíso solamente alcanzó 1.6 m. Por otra parte el terremoto de Marzo de 1964 ocurrido en Alaska, produjo alturas máximas de 4 m en Coquimbo, 2.5 m en Talcahuano, 2.2 m en Valparaíso, 2.1 m en Arica y 1.7 m en Corral.

En cuanto a modelación, se ha avanzado mucho en este tema, especialmente desde el 2005 a la fecha. Este avance fue gatillado por la ocurrencia del terremoto de Sumatra – Islas Andamán en Diciembre del 2004 y el tsunami que lo acompañó causando mas de 250.000 víctimas fatales. Estimaciones de altura del agua dentro de rangos relativamente aceptables se alcanzan con estos métodos. Ward (2010) plantea que las incertidumbres en estas estimaciones pueden alcanzar el 100% (2 veces la amplitud estimada) o el 50% (la mitad de la amplitud estimada).

2.3.3.4 Conclusiones

Como conclusiones se pueden destacar los siguientes aspectos:

a) La mayoría de los tsunamis que afectan las costas de Chile tienen por origen las deformaciones del fondo oceánico debido a los terremotos de gran magnitud que ocurren en la zona de acoplamiento entre las placas de Nazca y Sudamérica;

b) Prácticamente toda la costa de Chile se encuentra expuesta a la acción de tsunamis, especialmente el sector comprendido entre Arica y la Península de Taitao, ya que corresponde a la zona donde convergen -con tasas bastante elevadas- las placas de Nazca y Sudamérica.

c) La velocidad de convergencia entre las placas Antártica y Sudaméricana es alrededor de un tercio de lo que se observa entre las placas de Nazca y Sudamérica, de modo que la productividad sísmica es bastante menor en esta región. Además, la placa que subducta, al menos en la porción norte, es una placa muy joven (el punto triple se encuentra costa afuera de la Península de Taitao) por lo tanto no es capaz de sostener las deformaciones que se requieren para generar un gran terremoto que pueda ser causativo de un tsunami de importancia;

d) En el sector comprendido entre Arica y la Península de Taitao, los run-ups pueden alcanzar alturas del orden de 20 ó 25 m, tal como se ha reportado para los tsunamis de 1868 (sur de Perú), 1877 (norte de Chile) y 1960 (centro-sur de Chile);

e) Las oscilaciones del mar observadas para estos tsunamis varían en general entre 15 a 20 minutos, siendo la primera entrada de mar no necesariamente la de mayor amplitud;

f) Las costas interiores en el sur de Chile, fiordos y canales también han sufrido las consecuencias de tsunamis generados principalmente por deslizamientos cuyas costas poseen pendientes elevadas. Tres tsunamis de este tipo han sido relacionados a la ocurrencia previa de sismos;

g) Al igual que se han reportado alturas de run-ups, es necesario considerar niveles equivalentes de bajamar, que podrían afectar el

suministro de agua requerido si es que las bocatomas se encuentran a un nivel muy superficial. Para ello se requiere una batimetría de detalle;

h) Es necesario modelar aquellas situaciones en las cuales las amplitudes del tsunami pueden ser drásticamente incrementadas debido a la topografía local por lo tanto se requieren mallas topográficas de detalle;

i) Tsunamis de origen lejano pueden alcanzar significativas alturas de olas en las costas de Chile;

j) Por último, es necesario destacar que las indicaciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica no incluyen aspectos sobre el desplazamiento vertical permanente o cuasi-permanente de posibles lugares de emplazamiento. Un ejemplo lo representan las islas Guafo y Guamblin que sufrieron levantamientos de 4 y 6 m, en tanto que la ciudad de Valdivia alcanzó niveles de subsidencia de más de 2 m. Estos cambios de elevación deben ser considerados en los estudios de detalle.

2.3.3 Tsunamis 54

2.3.3.1 Introducción 54

2.3.3.2 Descripción y características de los tsunamis 55

2.3.3.3 Generación de tsunamis 57

2.3.3.4 Conclusiones 63

2.4 Peligro de Remoción en Masa y otros Peligros Geotécnicos

2.4.1 Introducción

En este capítulo se describen y analizan los peligros de remoción en masa que afectan el territorio nacional. Conjuntamente, se analiza información disponible sobre otros peligros considerados geotécnicos por la IAEA[1] como la subsidencia o colapso y la licuefacción. Problemas asociados a la calidad de las rocas y suelos de fundación se analizan en el capítulo de geología de este informe.

Este estudio se realiza a escala nacional, lo que es una fuerte limitante para el estudio de procesos de remoción en masa y otros peligros geotécnicos, que en su inmensa mayoría son fenómenos locales que deben ser estudiados a escalas subregionales o de detalle. Por esto, el presente estudio apunta a una descripción global de estos peligros y la elaboración de restricciones genéricas para el emplazamiento de centrales nucleares en el país, pero no considera indicaciones de zonas o sitios específicos que necesitan de análisis de mayor detalle.

2.4.2 Metodología

Por tratarse de un trabajo a escala nacional, la metodología se basa en la revisión bibliográfica como boletines, informes técnicos y artículos científicos de eventos reportados de remoción en masa en el país. Las remociones encontradas fueron ploteadas en el mapa base a escala 1:6.000.000, y analizadas según su ubicación geográfica, tipo y edad. Los factores condicionantes y desencadenantes fueron analizados a partir de las descripciones bibliográficas y el análisis de la posición de las remociones respecto al relieve (usando un modelo de elevación digital generado a partir de la base de datos SRTM-90m) y de la geología. La información sobre otros peligros geotécnicos e información de eventos en centrales de otros países se basó en bibliografía y búsqueda de sitios web con información.

El estudio bibliográfico se basó fundamentalmente en el trabajo de Hauser (2000) que recopila eventos de remoción en masa, incluyendo avalanchas de nieve, y subsidencia, previos a la fecha de dicho estudio. Esta recopilación fue complementada con bibliografía de los últimos diez años, en especial informes de Sernageomin, artículos de revistas científicas y de congresos.

[1] International Atomic Energy Agency, 2003. Site Evaluation for Nuclear Installations: Safety Requirements. IAEA Safety Standards Series, No.NS-R-3.

También se consultó bibliografía sobre casos de licuefacción en el país. La bibliografía revisada se indica al final de este capítulo.

Sobre la base de los antecedentes analizados, se sistematizan restricciones genéricas para el emplazamiento de centrales nucleares desde la perspectiva del riesgo de remociones en masa, y se señalan los estudios necesarios para abordar estos peligros en futuros análisis de emplazamiento.

2.4.3 Tipos de remociones en masa y otros peligros geotécnicos en Chile

En el mundo existen diversas clasificaciones de procesos de remoción en masa. En este trabajo, por tratarse fundamentalmente de eventos en Chile y por ser la principal fuente de consulta, se adopta la clasificación y definiciones propuestas por Hauser (2000), quien clasifica las remociones en flujos, deslizamientos, desprendimientos, avalanchas, creep, subsidencia, jökulhlaup y remociones en masa prehistóricas. Cabe señalar que en otras clasificaciones usadas en el mundo algunos de estos procesos no se consideran estrictamente como remoción en masa ("landslide" en inglés), como es el caso de las avalanchas de nieve y subsidencia. En el caso de Hauser (2000), se emplea una acepción amplia de remociones en masa, definida como procesos de "movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores". Además de los peligros geotécnicos de subsidencia y avalanchas, se incluye el peligro de licuefacción.

A continuación se define cada tipo de proceso de remoción en masa considerado en este estudio (Hauser, 2000):

- *Flujos*: movimientos de masa de mayor o menor velocidad, en que los materiales afectados actúan temporalmente como un fluido, experimentan una deformación continua y no presentan superficies de rotura definidas. Este tipo incluye subcategorías de flujos de barro, flujos detríticos, flujos laháricos y flujos de relaves. En Chile estos fenómenos son popularmente conocidos como "aluviones".

- *Jökulhlaup*: Término que designa un flujo aluvional producido por el abrupto colapso de un lago glacial. Este fenómeno es conocido también como Glacial Lake Outburst Flood o GLOF.

- *Creep*: Reptación lenta, que genera deformaciones superficiales. Cuando el movimiento se asocia a acciones de hielo-deshielo en suelos de grano fino, se conoce como solifluxión.

- *Deslizamientos*: Masas de rocas o suelo que deslizan de acuerdo a superficies de roturas más o menos bien definidas, al superarse la resistencia al corte. Se dividen en deslizamientos traslacionales y rotacionales.

- *Desprendimientos*: Caída de bloques de rocas y/o suelo semiconsolidado a partir de una ladera de fuerte pendiente, cornisa o acantilado rocoso, con una trayectoria, al menos en parte, de caída libre.

- *Avalanchas*: En este caso se restringe a grandes masas de nieve o hielo, usualmente acompañadas de otros materiales, que se movilizan con gran energía desde laderas de relieves montañosos. (Nota: otras clasificaciones distinguen entre avalanchas de rocas y de nieve, en este caso se entenderá por procesos de movimiento de nieve).

- *Subsidencia y Colapso*: Se entiende por subsidencia a un descenso lento y paulatino del suelo y por hundimiento o colapso a un movimiento brusco en la vertical, más o menos puntual, de una porción del terreno. Ocurren usualmente en ambientes geológicos kársticos por disolución de la roca (Nota: por no tratarse de un proceso de ladera, estos fenómenos son considerados peligros geotécnicos pero no catalogados estrictamente remociones en masa por la IAEA).

También se considera en este trabajo el peligro de licuefacción, definido como (Kramer, 1996):

- *Licuefacción*: Conjunto de fenómenos que producen deformaciones del suelo causadas por perturbaciones en suelos saturados no cohesivos bajo condiciones no drenadas, asociadas a la generación de exceso de presión de poros. Los fenómenos de licuefacción son usualmente asociados a terremotos.

2.4.4 Catálogo de peligros geotécnicos

La revisión bibliográfica permitió la elaboración de un catálogo de eventos de remoción en masa, avalanchas, subsidencia y licuefacción en el país. Claramente, este catálogo es incompleto e incluye los eventos de mayor envergadura o impacto en la población, que los hace merecedores de ser incluidos en informes y otras publicaciones. En este catálogo se identificaron 197 eventos en 224 sitios, clasificados por tipo. Donde había información, se recabaron las fechas de ocurrencia y factores desencadenantes. El catálogo completo se incluye como Anexo 1. La ubicación, tipo y rango de fecha de ocurrencia se resume en la Figura 2.4.1.

Un primer análisis de la distribución de remociones en masa muestra un sesgo hacia zonas pobladas, con concentraciones de eventos en y cerca de ciudades como Antofagasta, Santiago, Concepción o Coyhaique, entre otras. Esto se explica posiblemente por un mayor impacto en la población, lo que ha generado mayor cantidad de estudios y publicaciones sobre dichos eventos. No obstante lo anterior, se identifican también remociones en otras zonas, lo que permite hacer un análisis estadístico básico de frecuencia que permita inferir algunas condiciones de ocurrencia de los distintos tipos de remoción en masa en el país.

Los gráficos 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3 muestran la distribución de remociones en masa por tipo y fecha de ocurrencia, para cuatro macrozonas del país: una zona Norte entre las regiones de Arica-Parinacota y Atacama, una zona Centro-Norte entre las regiones de Coquimbo y Metropolitana, una zona Centro-Sur entre las regiones de O´Higgins y de Los Ríos, y una zona Sur entre las regiones de Los Lagos y Magallanes. El criterio para elegir estas macrozonas es esencialmente climático y de relieve, agrupando regiones de características relativamente similares.

El gráfico 2.4.1 muestra una mayor frecuencia de eventos tipo flujo para el total del país y en particular para las macrozonas Norte y Centro-Norte, mientras que en las zonas Centro-Sur y Sur el tipo de mayor frecuencia son los deslizamientos, que constituyen el segundo tipo de mayor frecuencia a nivel nacional. También son comunes los desprendimientos y las remociones en masa prehistóricas. Los eventos reportados de avalanchas de nieve se concentran en las regiones más pobladas, lo que indica probablemente un sesgo de muestreo. Los fenómenos de subsidencia y de licuefacción son relativamente escasos, y los de creep y jökulhaup son más locales, aunque estos últimos cobran mayor relevancia en la zona Sur.

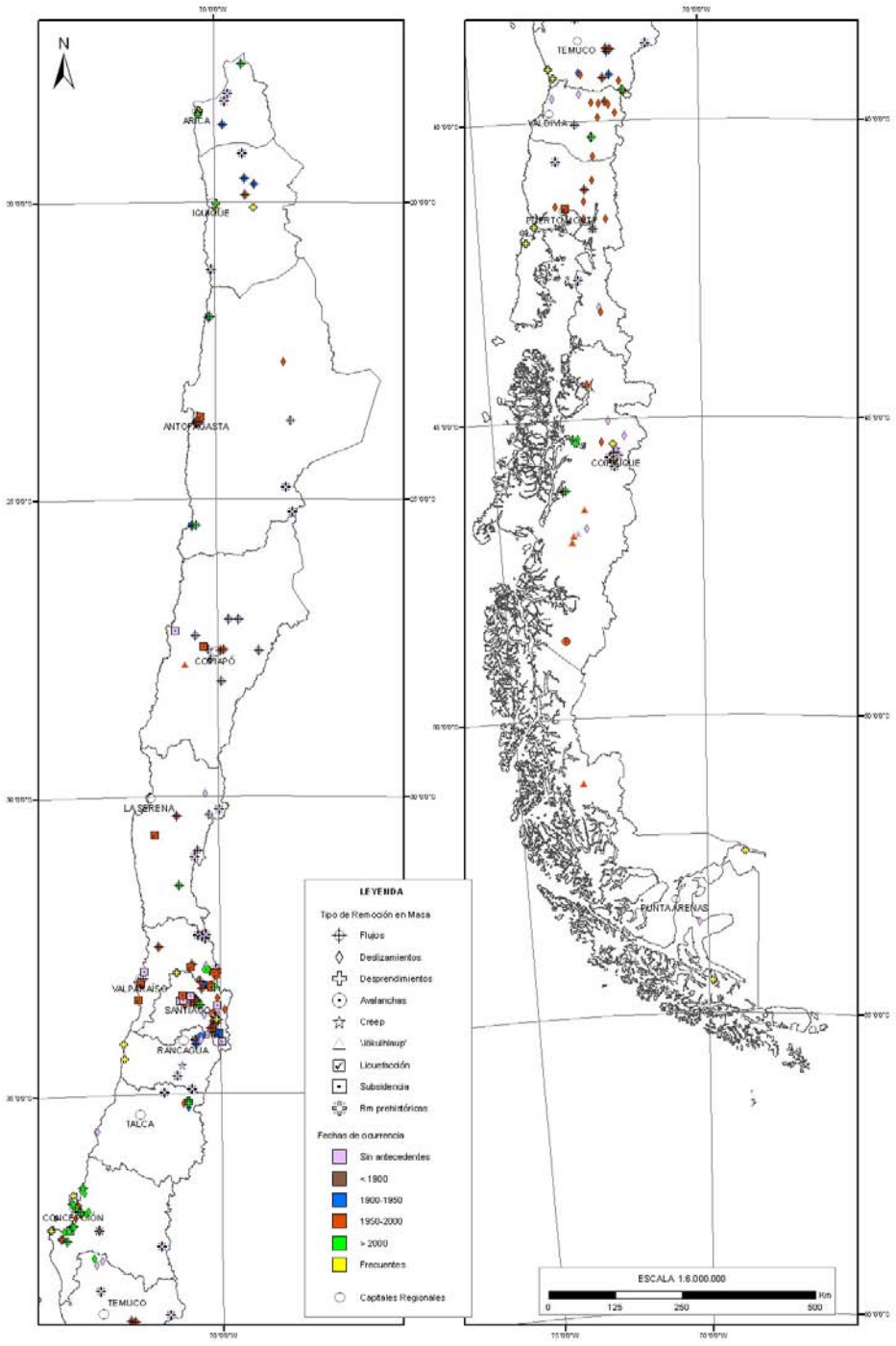


Figura 2.4.1. Catastro de eventos de remoción en masa y otros peligros geotécnicos en el país.

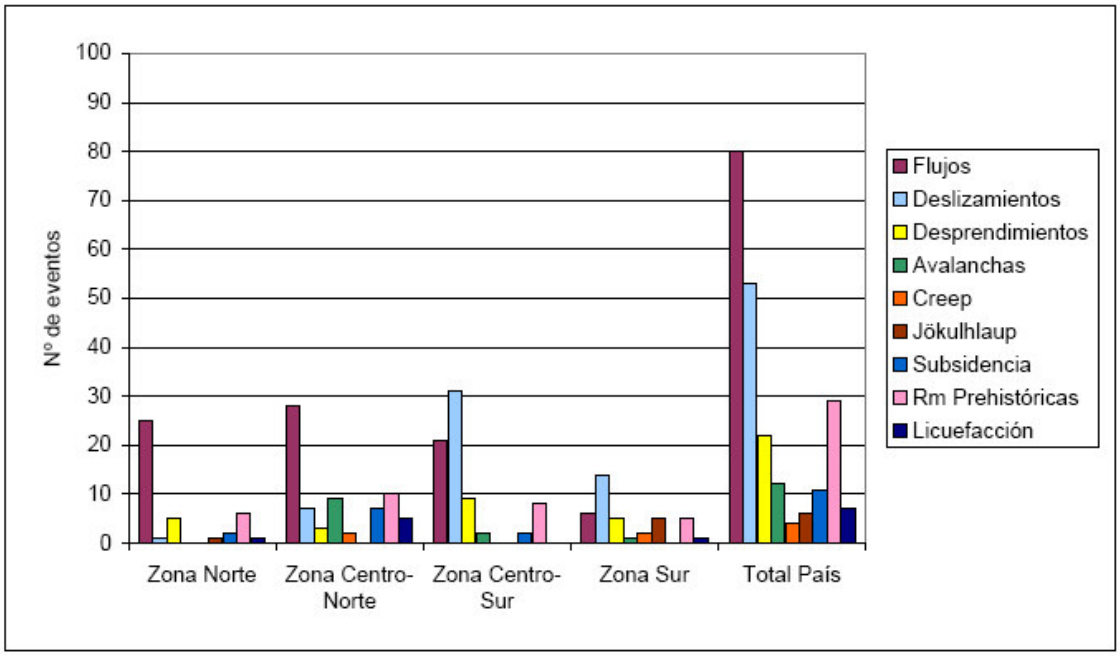


Grafico 2.4.1: Número de eventos para cada zona, diferenciados por tipos de remociones en masa

El gráfico 2.4.2 muestra que en número la mayor cantidad de eventos se concentra en las zonas Centro-Norte y Centro-Sur, con cerca de dos tercios del total para todo el país. Si se consideran solo aquéllas con fecha reportada de ocurrencia, la distribución es similar. El mayor número de casos se da para el periodo 1950-2000, aunque llama la atención que en la zona Centro-Sur los casos acumulados en los últimos diez años igualan a los de dicho periodo de cinco décadas.

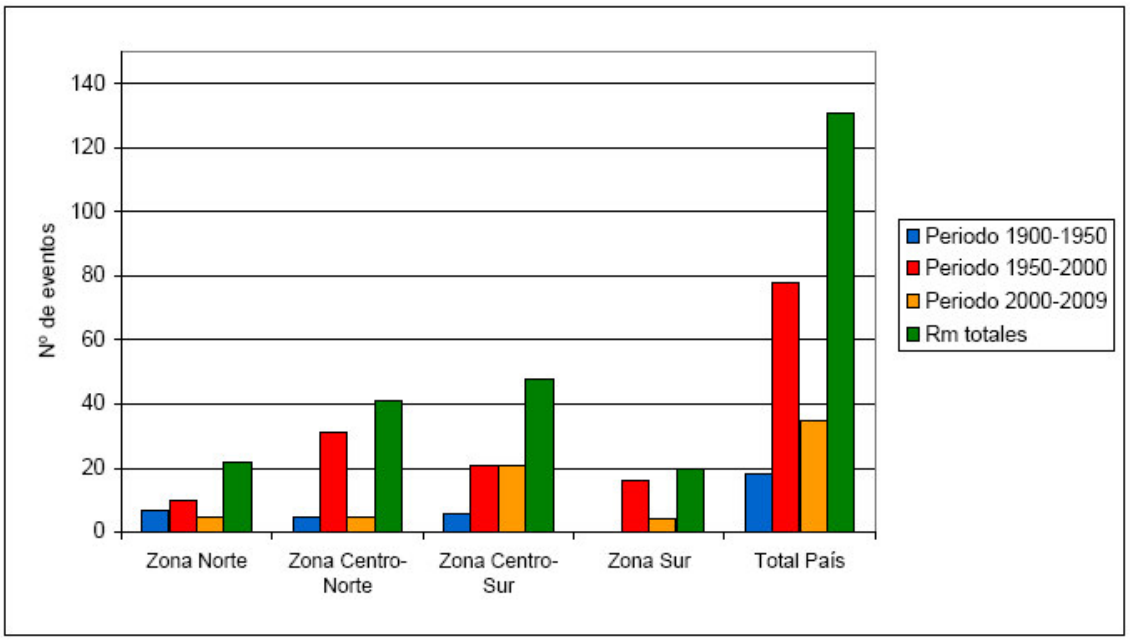


Grafico 2.4.2. Número de eventos para cada zona, diferenciados por periodos

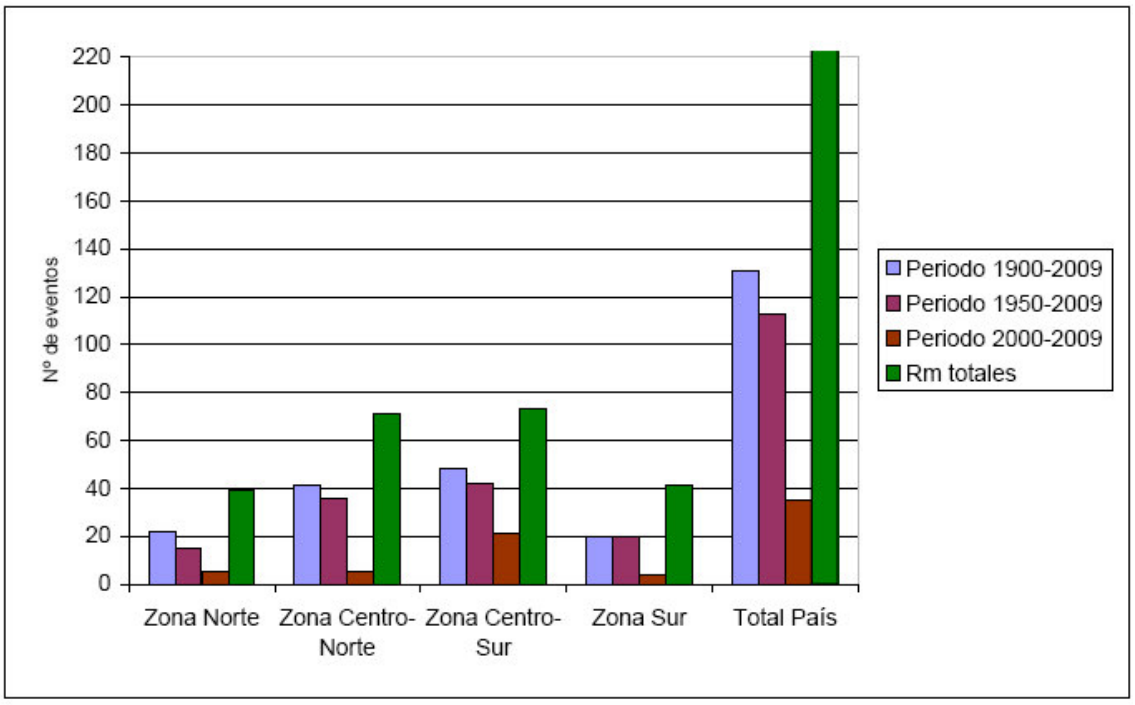


Grafico 2.4.3. Número de eventos para cada zona, diferenciados por periodos acumulados

En el gráfico 2.4.3 se muestra la cantidad informada de casos desde 1900, 1950 y 2000 a la fecha. Como el catálogo es incompleto, dividiendo el número

de eventos en un cierto periodo por el total de años considerado es posible calcular valores mínimos de recurrencia de los eventos para cada macrozona. Utilizando los tres rangos señalados, se obtienen valores de recurrencia que permiten dar una idea del nivel de frecuencia de estos eventos peligrosos en cada zona. Estos valores se presentan en la Tabla 2.4.1, para el total de eventos desde 1900 como por periodos.

Considerando el periodo más largo (1900-2009), se observa que para el total del país hay sobre un evento anual de importancia, mientras que por macrozona los periodos de retorno oscilan entre dos y cinco años, aproximadamente. Al considerarse por periodos, se observa una tendencia a aumentar la frecuencia de casos reportados, llegando a cerca de cuatro por año en el último periodo (2000-2009). Este aumento puede obedecer a dos factores, el más probable es que el aumento de población y de profesionales asociados a la temática hace aumentar en número de casos estudiados. Sin embargo, no puede descartarse que efectos naturales como el cambio climático global esté incidiendo en un aumento en la frecuencia de este tipo de peligros.

Tabla 2.4.1. Valores de recurrencia de eventos de peligros geotécnicos considerando distintos periodos de tiempo, por zona y para el total del país. No se consideran para el cálculo las remociones prehistóricas, sin fecha del evento, y aquellos sitios calificados como de ocurrencia "frecuente".

Recurrencia (Rm/año)	Zona Norte	Zona Centro-Norte	Zona Centro-Sur	Zona Sur	Total País
1900-2009	0,20	0,38	0,44	0,18	1,20
1950-2009	0,25	0,61	0,71	0,34	1,92
2000-2009	0,56	0,56	2,33	0,44	3,89
1900-1950	0,14	0,10	0,12	0,00	0,36
1950-2000	0,20	0,62	0,42	0,32	1,56

2.4.5 Factores condicionantes y desencadenantes

Los factores condicionantes son aquéllos factores relativamente estables en el tiempo que controlan o condicionan la susceptibilidad a generarse remociones en masa en alguna zona. Estos factores son usualmente asociados a las condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas de las laderas, y en menor medida a factores climáticos y de vegetación (Lara y Sepúlveda, 2009).

Dada la escala de trabajo de este estudio, es inconducente hacer una descripción detallada de los factores condicionantes, ya que éstos son inherentes a condiciones locales y varían por lo tanto de un sitio a otro. A esta escala solo es posible señalar un par de factores genéricos que pueden identificarse con la información disponible, como es el relieve y la litología dominante. La Figura 2.4.2 muestra el inventario de remociones en masa y otros peligros sobre un mapa de pendientes generado a partir del modelo de elevación digital. En colores claros se representan los sectores de pendientes elevadas, y en tonos oscuros las zonas más planas. Como es esperable, los movimientos de laderas se concentran en zonas de alta pendiente, pero en términos geomorfológicos se puede apreciar una cierta tendencia a ocurrir en zonas de relieve costero y hacia los márgenes de la Cordillera Principal, con excepción de la Zona Sur. En la alta cordillera dominan las remociones prehistóricas, que son reconocidas por su mayor volumen. La ubicación de un alto número de inestabilidades en los frentes cordilleranos de la costa y de la Cordillera Principal puede asociarse a efectos orográficos que generan precipitaciones de alta intensidad en esos ambientes, así como a la presencia de fallas activas o potencialmente activas como se describe en el capítulo de peligro sísmico. Los eventos de licuefacción y subsidencia, en tanto, aparecen también en zonas de menor relieve, por tratarse de fenómenos no directamente asociados a zonas de alta pendiente en su generación.

En cuanto al factor litológico, la estrecha correlación que existe en general entre las unidades principales del relieve y las litologías dominantes refleja un control relativamente análogo al del relieve. Así, como se aprecia en la Figura 2.4.3, los eventos de remoción en masa que ocurren en la Cordillera Principal están asociados principalmente a unidades volcánicas y volcanosedimentarias mesozoicas y cenozoicas, mientras los cercanos a la costa se presentan principalmente en zonas de rocas intrusivas de distintas edades. Los eventos de licuefacción y subsidencia en tanto tienen a estar asociados a secuencias sedimentarias jóvenes. De tal modo, es posible concluir que un control combinado de relieve y litología condiciona la ubicación preferencial de remociones en masa y otros peligros geológicos, pero a la escala de trabajo es posiblemente más significativo el factor relieve, ya que el control litológico está más fuertemente ligado a las propiedades geotécnicas, de carácter local, que a la edad y tipo general de roca.

Los factores desencadenantes son aquéllos que inducen una respuesta inmediata o casi inmediata del terreno generando la remoción en masa. Estos factores son comúnmente precipitaciones intensas, terremotos y erupciones volcánicas. Los factores desencadenantes varían de un tipo a otro de fenómeno. Como se puede apreciar en el catálogo del Anexo 1, los flujos

son principalmente generados por lluvias intensas, pero también hay varios casos asociados a erupciones volcánicas (flujos laháricos) y a sismos. Los deslizamientos se producen principalmente por lluvias y por sismos, mientras que los desprendimientos son más comúnmente causados por sismos, pero también por lluvias o por erosión costera. Las avalanchas obedecen a acumulaciones críticas de nieve bajo ciertas condiciones de pendiente, mientras los jökulhlaup se asocian a procesos glaciares o fenómenos de inestabilidad y colapso de depósitos morrénicos. La licuefacción se asocia a eventos sísmicos mayores. Los fenómenos de creep y subsidencia no tienen factores desencadenantes bien definidos, por tratarse de procesos más lentos y graduales. Finalmente, las remociones en masa prehistóricas no tienen un factor desencadenante bien identificado, aunque en algunos casos puede inferirse según el tipo de remoción que se trate, de acuerdo a lo presentado anteriormente.

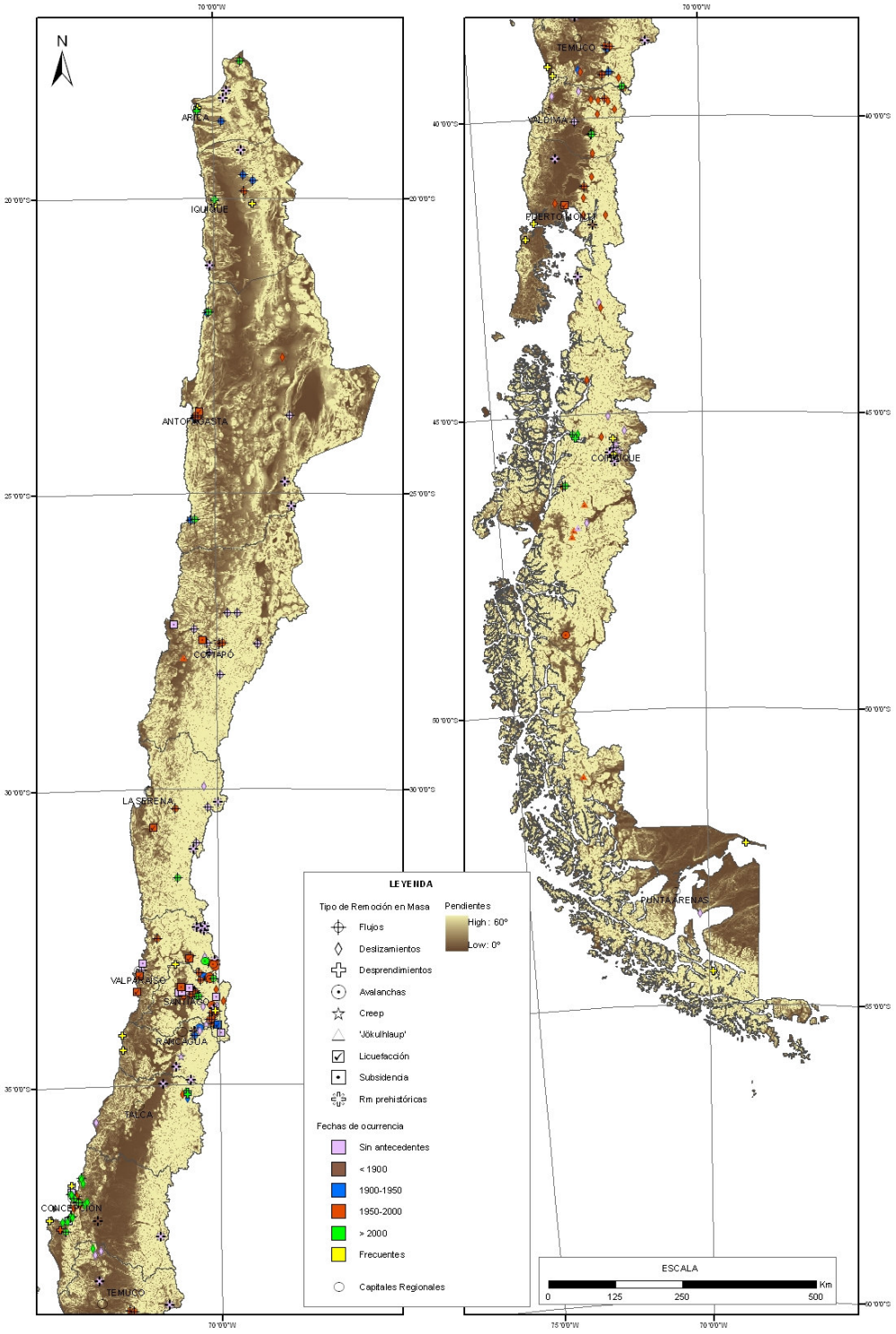


Figura 2.4.2. Mapa de pendiente del territorio nacional, junto con el inventario de eventos de peligros geotécnicos.

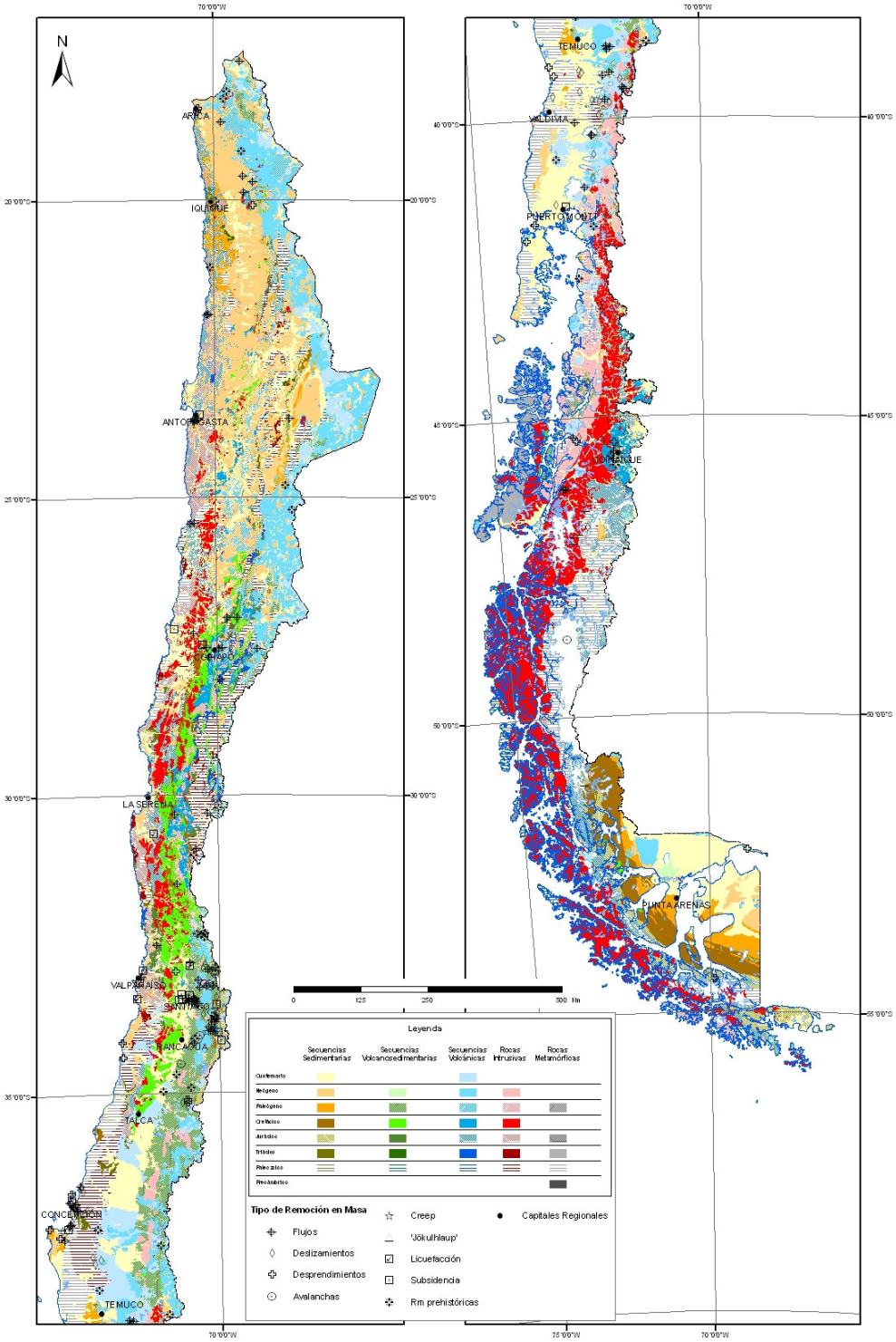


Figura 2.4.3. Ubicación de los peligros geotécnicos con respecto a la litología.

2.4.6 Eventos sobre centrales nucleares en el mundo

En búsqueda bibliográfica de artículos científicos e internet no se ha encontrado a la fecha ninguna descripción detallada de remociones en masa u otro peligro geotécnico con un impacto directo en una central nuclear. El caso más cercano a lo anterior es lo ocurrido en el terremoto de Niigata Chuetsu Oki en Japón ocurrido el 16 de julio de 2007. Este sismo (magnitud 6.6) afectó a la central nuclear de Kashiwazaki-Kariwa, cercana al epicentro, donde se registraron aceleraciones de hasta 0,68 g. El movimiento causó licuefacción en suelos alrededor de la planta y ciudades cercanas, que causó daños estructurales a diversas obras, en especial cercanas a la costa, así como volcanes de arena, propagaciones laterales de terreno y asentamientos. También se registraron deslizamientos que afectaron principalmente vías férreas y caminos (USGS, 2007).

2.4.7 Restricciones y Estudios para Análisis de Emplazamiento

En primer lugar, se señalan restricciones genéricas para el emplazamiento de centrales nucleares, las cuales no deben ubicarse en sitios con claro potencial de ser afectados por procesos de remoción en masa en el territorio nacional. Así, se recomienda para futuros de emplazamiento descartar sitios específicos con una o más de las siguientes características:

- Laderas con pendiente superior a 10°
- Al borde de acantilados o laderas de alta pendiente
- Inmediatamente al pie de laderas de alta pendiente o altura
- En el cauce de ríos, esteros o quebradas, independiente de su tipo o nivel de escorrentía.
- En depósitos de remoción en masa reconocidos
- En sendas de avalancha de nieve y zonas históricamente afectadas por éstas.
- En zonas de minas subterráneas en operación o abandonadas, piques mineros, etc.

Para otros terrenos, será de todas formas necesario realizar estudios de peligro de remoción en masa y otros peligros geotécnicos, a escala distrital para la zona alrededor del sitio pre-seleccionado y a escala del sitio específico de emplazamiento. Estos estudios deben contener al menos:

- Mapas de inventarios de remociones en masa

- Análisis de peligro de deslizamientos, flujos, caídas, licuefacción, subsidencia y avalanchas de nieve, incluyendo estudios geotécnicos donde sea apropiado según la escala de trabajo y tipo de fenómeno.
- Estudios de mitigación en sectores que puedan ser afectados por fenómenos de remoción en masa, por ejemplo cercano al pie de laderas, en llanuras de inundación o abanicos aluviales, entre otros.
- Para estudios de sitio, los análisis de peligro deben ser apoyados por estudios de estabilidad de taludes, fundamentados en ensayos geotécnicos y que consideren factores desencadenantes sísmicos y de pluviosidad, para periodos de retorno acordes a la vida útil de la obra y las normativas internacionales.

2.4 Peligro de Remoción en Masa y otros Peligros Geotécnicos 1
2.4.1 Introducción 1
2.4.2 Metodología 1
2.4.3 Tipos de remociones en masa y otros peligros geotécnicos en Chile 2
2.4.4 Catálogo de peligros geotécnicos 4
2.4.5 Factores condicionantes y desencadenantes 8
2.4.6 Eventos sobre centrales nucleares en el mundo 13
2.4.7 Restricciones y Estudios para Análisis de Emplazamiento 13

2.5 Peligro de inundaciones

2.5.1 Generalidades

La seguridad de centrales nucleares puede verse afectada negativamente por eventos de inundación asociados a crecidas de ríos, fallas de obras de control hidráulico como presas, protecciones fluviales, o bien por aumentos del nivel del mar en zonas costeras. Los eventos de inundación pueden estar asociados a situaciones "frecuentes" (e.g. inundaciones en la zona sur de Chile, por ejemplo en cuenca de río Imperial) o "inusuales" (e.g. aluviones zona centro Norte de Chile), y los métodos de recolección de datos y evaluación de riesgo estarán relacionados directamente con el tipo de inundación que se esté estudiando.

La inundación de diseño en un sitio en particular debe ser estimada a partir del peligro de inundaciones, el que a su vez es un resultado probabilístico de la combinación de factores que puedan ocasionar inundaciones en dicho sitio. Siempre será necesario adjudicar un período de retorno a la crecida de diseño, aún cuando se hayan empleado métodos determinísticos para su estimación.

Asimismo, la inundación de diseño puede consistir de una serie de parámetros que presenten una amenaza para la seguridad de la planta. Estos parámetros pueden incluir el nivel de aguas máximo, pero también la velocidad del flujo, o la tasa de aumento del nivel de las aguas.

2.5.2 Inundaciones Fluviales

La heterogénea geografía de Chile ocasiona que el origen de las inundaciones fluviales, a lo largo del territorio nacional, sea de variada naturaleza, desde tormentas convectivas locales de gran intensidad en la zona Norte, hasta fenómenos de tipo ciclónico, que abarcan grandes extensiones de terreno y por lo tanto pueden generar inundaciones de carácter regional como las que afectan con cierta frecuencia a la zona centro sur de Chile (regiones del Bíobío y Araucanía).

La mayoría de los eventos que han generado daños considerados "desastrosos" en Chile se han producido en los meses de Mayo, Junio y Julio, es decir coincidentes con el invierno austral y por lo tanto con la época de mayor concentración de precipitaciones. De dichos eventos, durante la década de 1990-2000 más de la mitad ocurrió en años El Niño (ONEMI, 2001). Los períodos el Niño se caracterizan por un aumento en las temperaturas del

océano Pacífico Ecuatorial. Este aumento de temperaturas inhibe la surgencia de aguas frías hacia la superficie, y provoca un aumento en las temperaturas del aire en 1 a 2 ° C sobre lo normal. Este fenómeno se asocia, en Chile central, con precipitaciones más altas que lo normal. Durante el siglo 20, se documentaron fenómenos de El Niño en los años 1902, 1905, 1911, 1914, 1918, 1925, 1929, 1939, 1941, 1953, 1957, 1965, 1972, 1982, 1986, 1992 y 1997. En muchos ríos de Chile, el año 1982-83 registra los caudales máximos más altos de la serie histórica. No obstante lo anterior, cabe destacar que eventos desastrosos se han producido también en años "No Niño", como en los años 2000 –donde inundaciones afectaron a nueve regiones de Chile- y 2006.

En términos generales, en zonas cercanas a ríos las inundaciones pueden resultar de los siguientes escenarios:

- Precipitación en zonas alejadas, y caudales de avenida transportados al sitio por cauces superficiales
- Crecidas producto de derretimiento de nieves, crecidas estacionales, o crecidas producto de volcanismo
- Crecidas producto de la falla de obras de control hidráulico, ya sea por razones hidrológicas o de fallas de operación (rotura de presas)
- Crecidas inducidas por grandes olas producto de deslizamientos de tierra, lahares u otros fenómenos similares en aguas superficiales
- Inundaciones producto de obstrucciones en cauces superficiales, provocadas por derrumbes, flujos de detritos, etc.
- Inundaciones producto de olas locales en rios de gran tamaño o estuarios
- Inundaciones producto de niveles de agua subterránea aumentados producto de terremotos

Los métodos para estimar inundaciones fluviales se pueden clasificar en i) determinísticos y ii) probabilísticos.

Los métodos determinísticos se emplean típicamente cuando no existe información fluviométrica medida en la zona de interés, o bien la información disponible no se considera representativa. En estos casos se utiliza una precipitación de diseño como base para estimar los parámetros de interés mediante algún método de simulación hidrológica determinística. La precipitación de diseño será aquella que, dados un período de retorno, área de drenaje y duración de la tormenta, produzca la mayor avenida físicamente posible.

Los métodos probabilísticos son adecuados cuando existen observaciones de caudales en el sitio o en estaciones fluviométricas en la cuenca de emplazamiento de la central. Si la información de caudales medida cubre un período de registro suficientemente extenso, entonces estos métodos –típicamente análisis de frecuencias- pueden ser empleados cuando la información meteorológica es insuficiente.

2.5.3 Metodología de estimación de peligro de inundaciones fluviales

Como se indicó más arriba, la estimación de áreas de inundación requiere no sólo información de caudales, sino la caracterización de condiciones de flujo asociadas a niveles de agua, velocidades de escurrimiento e hidrogramas de caudal y nivel.

Para estimar dichas condiciones, es necesario combinar la información de caudales con las características geomorfológicas del terreno, representadas en primer lugar por información topográfica y batimétrica a escala (para diseño) de al menos 1:5,000. Esta información no se encuentra disponible a nivel nacional, sino que sólo se ha generado para estudios y proyectos en zonas específicas a medida que el desarrollo de infraestructura lo ha demandado. Por consiguiente, y atendiendo a las limitaciones de alcances y plazo de este estudio, se adopta una estrategia alternativa, que contempla la caracterización de zonas homogéneas con respecto a su comportamiento hidrológico.

De este modo, en esta fase del análisis se recoge la información contenida en el estudio de eventos hidrometeorológicos extremos (DGA, 1995) y se actualiza dicha información con observaciones en estaciones fluviométricas representativas de las regiones hidrológicamente homogéneas propuestas en dicho estudio. Estas regiones homogéneas son presentadas en la cartografía base.

Ante la imposibilidad de definir peligros de inundación asociados a áreas específicas, se propone jerarquizar las regiones homogéneas de acuerdo a métricas alternativas que dan cuenta de las condiciones hidrológicas más relevantes. En particular, la relación entre el caudal máximo instantáneo asociado a un período de retorno T, y el caudal máximo instantáneo asociado a un período de retorno de referencia es un indicador de la variabilidad esperable en el régimen de crecidas. Dado que típicamente las series fluviográficas en Chile no cuentan con más de 30 o 40 años de información contínua, la estimación de crecidas asociadas a períodos de recurrencia, T, mayores esta sujeta a un nivel de incertidumbre que crece a medida que T

aumenta. Mientras mayor sea el cuociente entre el caudal asociado a un período de retorno T (por ejemplo, 100 años) y el caudal de referencia (por ejemplo con período de retorno 10 años), entonces el nivel de incertidumbre inherente a la estimación cobra más relevancia, porque se trata de incertidumbre aplicada a caudales mucho mayores que los observados comúnmente en el período histórico.

Estudio de eventos hidrometeorológicos extremos (DGA, 1995).

El estudio de eventos extremos de la Dirección General de Aguas tiene como objetivo presentar un panorama nacional de crecidas en ríos de Chile, desde el punto de vista de la distribución de frecuencias de los caudales máximos instantáneos. A partir del análisis de frecuencias de datos medidos en estaciones fluviométricas, se definen una serie de zonas homogéneas. Estas zonas están clasificadas según latitud, elevación y régimen climático (precipitación media anual). Para cada zona homogénea se define una curva de frecuencias adimensional característica, que entrega el valor del caudal de crecida para período de retorno T con respecto al caudal de período de retorno 10 años. Esta curva de frecuencia resulta de ajustar una función de densidad de frecuencia empírica a los datos de caudal asociados a diversas probabilidades de excedencia. Adicionalmente, el caudal máximo diario de período de retorno 10 años se estima, para aquellas ubicaciones sin control fluviométrico, a partir del área pluvial aportante de la cuenca, A_p, y de la precipitación máxima en 24 horas de 10 años, P_{24}^{10}, según expresiones del tipo

$$Q_{10} = c\left(A_p\right)^m \left(P_{24}^{10}\right)^n$$

donde c, m y n son coeficientes que dependen de la zona geográfica donde se estima el caudal, y que han sido calibrados a partir de múltiples observaciones de eventos extremos históricos.

Finalmente, el caudal máximo instantáneo se obtiene como la multiplicación del caudal máximo diario por un factor que depende del período de retorno.

En el estudio de la DGA (1995) se definieron 23 zonas homogéneas para el período de invierno (pluvial) y 9 zonas homogéneas para el período de deshielo. La variable principal en la definición de las zonas homogéneas es la latitud u hoya hidrográfica, salvo entre las regiones de Valparaíso y O'Higgins, donde la mayor variabilidad de regímenes hidrológicos motivó

una subclasificación dependiente de la altitud, área aportante y precipitación media sobre la cuenca.

Las zonas homogéneas definidas en el estudio de la DGA (1995) se presentan en la Tabla 2.5.1 y se muestran gráficamente en la Figura 2.5.1.

Tabla 2.5.1. Zonas Homogéneas según curva de frecuencias caudal máximo instantáneo período pluvial

Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Zona	Cuenca
Latitud < 25°S				Dp	Exorreicas no controladas
				Ep	Altiplánicas y exorreicas
				Fp	Río Salado y Salar de Atacama
				Gp	Río Loa controlada
				Hp	San Pedro
25°S<Latitud<32°S				Ip	Copiapó, Huasco, Elqui
				Jp	Limarí no controlada
				Kp	Choapa
32°S<Latitud<35°S	Pma>600mm	Hest>1000m		Lp	
		Hest<1000m		Mp	
	Pma<600m	P24>80mm	A<145 km^2	Np	
			A>145 km^2	Op	
		P24<80mm		Pp	
Latitud>35°S				Qp	Mataquito
				Rp	Maule
				Sp	Itata
				Tp	Bíobío
				Up	Costeras Bíobío
				Vp	Imperial
				Wp	Toltén
				Xp	Bueno y Valdivia
				Yp	Aysén
				Zp	Río Serrano al Sur

Figura 2.5.1. Sectorización zonas homogéneas estudio eventos hidrometeorológicos extremos (DGA, 1995) y regionalización de acuerdo a coeficiente gamma definido en este estudio.

A las cuencas indicadas en la Tabla 2.5.1 se agregan las de los ríos Baker y Pascua, para las cuales este consultor realizara análisis hidrológicos en el marco del estudio de Linea Base del proyecto Centrales Hidroeléctricas Aysén (Hidroaysén, 2007).

En cada zona homogénea, se verifica que el análisis de frecuencias de los caudales máximos observados o bien estimados de manera indirecta a partir de relaciones precipitación-escorrentía arroja curvas de frecuencia estandarizadas que son asimilables entre sí. Las curvas de frecuencia estandarizadas representan el cuociente entre los caudales máximos instantáneos asociados a T y 10 años de período de retorno.

En el Anexo 4 se presentan las curvas de frecuencia para cada zona homogénea, según la definición del estudio de eventos hidrometeorológicos extremos de la DGA (1995). En la Figura 2.5.2 se muestran algunas curvas de frecuencia características de zonas homogéneas definidas para el país. Arbitrariamente, se puede clasificar las curvas definidas según un coeficiente gamma, que muestra la relación entre el caudal máximo instantáneo de T=100 y T=10 años.

- De alta pendiente: cuociente γ>4
- De moderada pendiente: 2< γ <4
- De baja pendiente: cuociente γ <2

Se observa de la figura que las cuencas de la zona Norte y Sur tienden a presentar curvas de frecuencia más “planas”, es decir con un menor valor del coeficiente gamma. En la zona centro, se observan cuencas con mayor variabilidad en el rango de frecuencias, con valores entre 2 y 4. Un caso particular lo constituye la cuenca del Salar de Atacama, donde el coeficiente gamma alcanza un valor igual a 6. En términos de análisis de riesgo, si bien esta información es insuficiente para estimar áreas afectadas por inundaciones cuantitativamente, es posible al menos considerar que en aquéllas zonas donde el cuociente gamma es menor, existirá un mayor nivel de información subjetiva relativa a crecidas poco frecuentes (T alto), ya que ellas se parecerán en mayor medida a las crecidas observadas con mayor frecuencia.

2.5.4 Discusión

Las curvas de frecuencia definidas en el estudio de la DGA (1995) muestran como máximo los caudales asociados a períodos de retorno T=100 años. Efectivamente, la incertidumbre asociada a estimaciones para períodos de retorno mayores aumenta considerablemente, y para obras de infraestructura importantes no es inusual encontrar rangos de incertidumbre de magnitud similar al valor de la variable estimada. La crecida de diseño para una central nucleoeléctrica corresponderá a un evento hidrometeorológico de bajísima probabilidad de ocurrencia. Por ejemplo, al Comisión de Seguridad de Centrales Nucleares de Alemania (KTA) exige el uso de una crecida de período de retorno T=10.000 años, estimada a partir de la crecida de T=100 años utilizando un factor de seguridad y un coeficiente de asimetría máximo c=4 para la distribución de frecuencias Log-Pearson III.

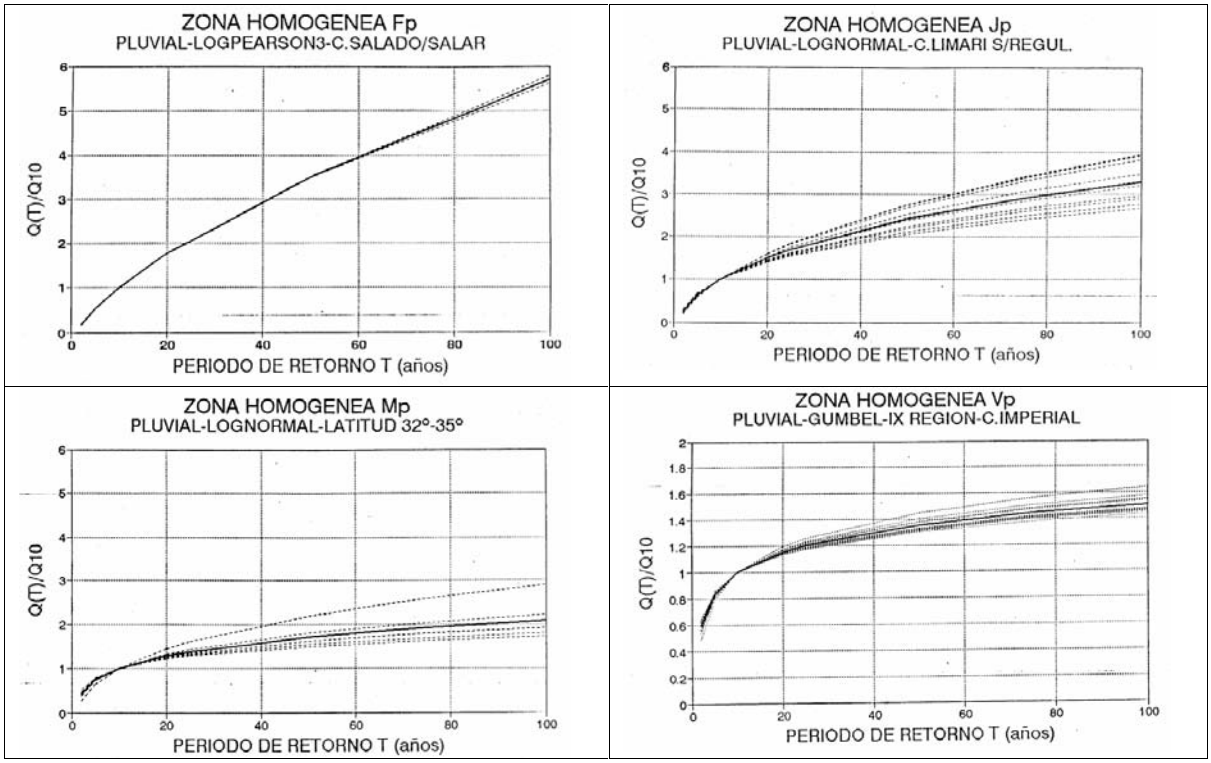


Figura 2.5.2. Ejemplo de curvas de frecuencia adimensionales para zonas homogeneas identificadas.

2.5 Peligro de inundaciones 1
2.5.1 Generalidades 1
2.5.2 Inundaciones Fluviales 1
2.5.3 Metodología de estimación de peligro de inundaciones fluviales 3
2.5.4 Discusión 8

2.6 Restricciones territoriales vinculadas a la energía nuclear

Desde el punto de vista del territorio a nivel nacional no existe una orgánica que señale explícitamente restricciones de uso del suelo asociado a la energía nuclear. Sin embargo, en Chile existen cuerpos normativos que implican restricciones de usos. Ejemplos de ello lo constituyen las territorios administrados por CONADI (Comisión Nacional de Desarrollo Indígena) y SNASPE (Sistema Nacional de áreas protegidas del Estado), o bien ciertas normativa ambientales y de construcción. En la Figura 2.6.1, se han mapeado algunas de las áreas de restricción, como por ejemplo las áreas SNASPE, centros urbanos y aeródromos, entre otras.

Los motivos que han llevado a considerar estos criterios se sustentan en las siguientes definiciones:

SNASPE:

Los territorios SNASPE no permiten usos diferentes a los establecido en la ley respectiva:

El Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), creado mediante la Ley Nº 18.362 de 1984, corresponde a aquellos ambientes naturales, terrestres o acuáticos que el Estado protege y maneja para lograr su conservación.

El sistema está formado por las siguientes categorías de manejo:

- Parques Nacionales
- Reservas Nacionales
- Monumentos Naturales

CONAF también administra algunos Santuarios de La Naturaleza, como el de la Laguna El Peral, pese a que esta categoría de protección no es parte del SNASPE. Esto debido a su amplia experiencia en la conservación del patrimonio natural del país.

La primera área silvestre protegida que se creó en Chile fue la Reserva Nacional Malleco, en 1907, ubicada en la actual Región de la Araucanía. Fue la primera en Sudamérica y tercera en el continente, además de la novena a nivel mundial.

Figura 2.6.1. Áreas de restricción.

Actualmente Chile cuenta con 96 unidades, distribuidas en 33 Parques Nacionales, 48 Reservas Nacionales y 15 Monumentos Naturales, las que en total cubren una superficie aproximada de 14 millones de hectáreas, equivalentes al 19% del territorio nacional.

Los Parques Nacionales se distinguen porque todos los recursos naturales que existen en ellos, flora, fauna, recursos hídricos, etc. no pueden ser utilizados con fines económicos, más bien deben ser protegidos. En cambio los recursos existentes en las Reservas Nacionales pueden ser utilizados en forma sustentable.

Parques Nacionales: Se define como Parque Nacional un área generalmente extensa, donde existen diversos ambientes únicos o representativos de la diversidad biológica natural del país, no alterada significativamente por la acción humana, capaces de autoperpetuarse y en que las especies de flora y fauna o las formaciones geológicas, son de especial interés educativo, científico o recreativo.

Los objetivos que se pretende son la preservación de muestras de ambientes naturales, de rasgos culturales y escénicos asociados a ellos; la continuidad de los procesos evolutivos, y en la medida compatible con lo anterior, la realización de actividades de educación, investigación y recreación.

Reservas Nacionales: Se llama Reserva Nacional al área cuyos recursos naturales es necesario conservar y utilizar con especial cuidado, por la susceptibilidad de éstos a sufrir degradación o por su importancia en el resguardo del bienestar de la comunidad.

Tiene como objetivo la conservación y protección del recurso suelo y de aquellas especies amenazadas de flora y fauna silvestre, a la mantención de o mejoramiento de la producción hídrica y la aplicación de tecnologías de aprovechamiento racional de éstas.

Monumentos Nacionales: Monumento Natural es un área generalmente reducida, caracterizada por la presencia de especies nativas de flora y fauna o por la existencia de sitios geológicos relevantes desde el punto de vista escénico, cultural o científicos.

Su objetivo es preservar el ambiente natural, cultural y escénico, y en la medida que sea compatible con ello, desarrollar actividades educativas, recreacionales o de investigación.

CONADI:

Las áreas insertas en las reglamentaciones de CONADI, dan cuenta de aquellos territorios que están regidos por la ley indígena, que están totalmente restringidos de cualquier uso diferente al que asigne la ley y/o las comunidades indígenas asociadas. No existe disponibilidad de los territorios sujetos a esta ley. No es posible acceder a la cartografía respectiva, no obstante éstos espacios están claramente definidos por CONADI.

Leyes y Normativas que Rigen el Funcionamiento de la Institución

Ley Nº 19.253 que establece normas de protección, fomento y desarrollo de los indígenas y crea la Corporación.

Ley Nº 18.834 del estatuto Administrativo, Ley Nº 18.575 Orgánica Constitucional de la Administración General del Estado, Ley Nº 18.025 del Ministerio del Interior. Reglamento General de Calificaciones, Decreto Supremo Nº 195 de 2000 del Ministerio de Planificación y Cooperación y Resolución 520 de la Contraloría General de la República.

Definiciones Estratégicas. Misión Institucional

Promover, coordinar y ejecutar la acción del Estado en favor del desarrollo integral de las personas y comunidades indígenas, especialmente en lo económico, social y cultural y de impulsar su participación en la vida nacional, a través de la coordinación intersectorial, el financiamiento de iniciativas de inversión y la prestación de servicios a usuarios.

Objetivos Estratégicos

Contribuir al desarrollo económico y cultural de los pueblos indígenas para impulsar la conformación de una sociedad nacional multicultural y pluriétnica, que reconoce y valora la existencia de los Pueblos Indígenas a través de la administración y ejecución de los Fondos de Tierras y Aguas Indígenas, Fondo de Desarrollo Indígena y Fondo de Cultura y Educación Indígena y Programa Orígenes.

Mejorar la calidad de los servicios institucionales a través de los Espacios de Atención Integral a Usuarios y la disminución de los tiempos de tramitación de los instrumentos de acreditación, para garantizar a la población indígena el acceso a los beneficios de que son sujetos de derecho.

Productos Estratégicos. Financiamiento de iniciativas para la ejecución de Fondos.

- Fondo de Desarrollo Indígena.

Programas Fondo de Desarrollo Indígena

- Fondo de Cultura y Educación Indígena.

Programas Fondo de Cultura
Programas Fondo de Educación

- Fondo de Tierras y Aguas Indígenas.

Programas de Tierras
Programas de Aguas

Financiamiento de iniciativas para ejecución del Programa Orígenes

- Desarrollo Integral de Comunidades
- Oferta Pública culturalmente pertinente

Recursos externos al presupuesto CONADI captados para la población indígena.

- Recursos captados por medio de complementariedad financiera a través de los Fondos.
- Recursos Financieros invertidos en Áreas de Desarrollo Indígena, en complementariedad con otras instituciones (Focalización en ADIs)
- Coordinación de Inversión a través de mesas regionales de trabajo

Espacios de Atención Integral de Usuarios

- Oficina de Información Reclamos y Sugerencias
- Programa de Difusión de los Derechos Indígenas

Atenciones a personas naturales de los derechos indígenas
Atenciones a organizaciones de los derechos indígenas

- Programa de Defensa Jurídica de personas y organizaciones indígenas
- Centro de documentación Subdirección Nacional Temuco

Acreditaciones y Servicios Jurídico

- Acreditación de Calidad Indígena de las personas
- Acreditación de Calidad Indígena de las tierras
- Acreditación de Personalidad jurídica de Comunidades y Asociaciones Indígenas
- Acreditación patrimonio histórico indígena (Archivo General de Asuntos Indígenas)

Clientes / Beneficiarios / Usuarios

Personas indígenas y sus organizaciones de las 8 etnias reconocidas por la Ley N° 19.253.

- Aymara.
- Atacameña.
- Colla.
- Quechua.
- Rapa-Nui.
- Mapuche.
- Yámana.
- Kawashkar.
- Diaguita.

ASENTAMIENTOS POBLADOS

Los asentamientos poblados se rigen por las leyes y ordenanzas del MINVU. Las áreas pobladas urbanas están sujetas a los usos de los Planes Reguladores de cada comuna, intercomuna o Región. De lo anterior se desprende que las áreas urbanas están totalmente restringidas para las centrales nucleares.

No obstante lo anterior, las áreas rurales no están sujetas a las legislación anterior de uso del suelo y los cambios de uso.

Se adjuntan Ley General de Vivienda y Urbanismo y la Ordenanza General de Vivienda y Construcción.

AERÓDROMOS

En el "Reglamento sobre Aeródromos" de la Dirección General de Aeronáutica Civil, DAR 14 se establece como área de protección un radio de 7 km en torno a un aeródromo.

PARCELAS DE AGRADO

Las parcelas de agrado corresponden a predios agrícolas que han sufrido un cambio de uso del suelo y que permite su subdivisión en unidades mínimas de 5000 metros cuadrados. Estos predios están sujetos al Decreto Ley 3.516 de 1980.

El Decreto Ley número 3.516 de 1980, que establece normas relativas a la subdivisión de predios rústicos, establece que son predios rústicos, los inmuebles de aptitud agrícola, ganadera o forestal ubicados fuera de los límites urbanos o fuera de los límites de los planes reguladores intercomunales de Santiago y Valparaíso y del plan regulador metropolitano de Concepción (artículo 1 del citado Decreto Ley).

Esta información no está disponible en términos de la localización espacial de los predios rústicos, y el SAG dispone de ella. Los predios rústicos están fuera de los límites urbanos establecidos por los Planes Reguladores como también de las áreas de expansión establecidas en tal instrumento de planificación territorial.

Los predios rústicos además pueden estar sujetos además a las leyes de condominio, que establece restricciones específicas de los usos del suelo en las áreas del condominio.

Consecuentemente a lo anterior, las áreas rurales sujetas al beneficio de cambio de uso del suelo y subdivisión de predios rústicos están totalmente excluidas de un uso vinculado a la energía nuclear.

2.6.1. Restricciones generales para centrales núcleo-eléctricas

La administración de las centrales nucleares en operación exige zonas concéntricas, a diferentes distancias alrededor de las centrales donde ejerce su autoridad, en diversos grados para la operación de la central, manejo de emergencias, medidas de evacuación y otras a fin de prevenir los daños posibles, pero de muy baja posibilidad de ocurrencia a las personas. Esto significa una amplia zona de 5 km aproximados alrededor de la planta donde

sólo se podría construir con autorización de la administración de la central (Sierpe et al., 2009).

En Estados Unidos, algunos Estados sólo permiten centrales nucleares de potencia a más de 20 km de centros poblados con más de 50.000 habitantes, excepto si se demuestra que el proyecto mejora mucho si se traspasa ese límite y que presenta beneficios para la comunidad (Sierpe et. al., 2009). En este sentido será importante que modificaciones al SEIA actual, diseñadas con la evaluación de proyectos nucleoelectricos en la mira, considere auténticos costos y beneficios, y se aleje del sistema de mitigaciones y compensaciones actual, que muchas veces no tienen que ver con las características del proyecto siendo evaluado.

2.6 Restricciones territoriales vinculadas a la energía nuclear 1
2.6.1. Restricciones generales para centrales núcleo-eléctricas 7

CAPÍTULO 3
REQUERIMIENTOS BÁSICOS EN RELACIÓN A RIESGOS NATURALES PARA PROYECTOS NÚCLEO-ELÉCTRICOS

3.1 Requerimientos y acciones necesarias para la evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos.

En este punto se analiza el estado (existencia y necesidades) de información científica y técnica relevante para la evaluación general (no específica a un sitio) de riesgos naturales en Chile.

En Chile existe la capacidad científica y técnica para obtener la información necesaria para evaluar los riesgos naturales. Sin embargo, en la actualidad, en muchas áreas del país la información básica no es suficiente. En muchas regiones la información geológica relevante está disponible a escalas no apropiadas para la evaluación general, los registros hidrometeorológicos y sísmicos cubren un periodo de tiempo restringido y no existen redes continuas de monitoreos sísmicos de buena calidad que permitan realizar análisis sismotectónico. Si bien existe un esfuerzo por parte de los servicios públicos como el SERNAGEOMIN, DGA y otros, para cubrir la información a nivel nacional, la gran inversión que significa la realización de estos levantamientos no ha sido prioridad para el Estado.

De lo anterior, se recomienda seleccionar tempranamente algunas regiones con mayor potencialidad para la instalación de una central núcleo-eléctrica con el fin de comenzar a monitorear en ellas la información relevante para la evaluación técnico-ambiental (instalación de redes sísmicas, hidrometeorológicas, etc.).

3.1.1 Evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos

Si bien en Chile el conocimiento existe, se requeriría que los organismos evaluadores de proyectos núcleo-eléctricos cuenten con recursos humanos especializados en los distintos temas relacionados a peligros naturales, con capacitación en proyectos de este tipo.

En la actualidad los servicios públicos revisores no cuentan con personal suficiente para abordar todos los grandes proyectos y por otra parte, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental permite que todos los organismos del estado relacionados se pronuncien respecto de todos los

temas (por ejemplo la Superintendencia de Servicios Sanitarios, Dirección Nacional de Vialidad, Servicio Agrícola y Ganadero, etc.), independiente de su competencia o atingencia.

Para el desarrollo de proyectos núcleo-eléctricos debe existir un organismo regulador y revisor que cuente con recursos humanos que garanticen el cumplimiento de todas las normas ambientales vigentes y con capacidad científico-técnica para evaluar la viabilidad de una central, en forma objetiva, con respecto a los peligros naturales a los que se expone. En una perspectiva legal es urgente establecer con claridad los alcances que debe tener un estudio que se presente a la evaluación ambiental. En la actualidad esto no es claro, quedando a criterio de cada institución revisora los alcances que estime necesarios.

3.2 Brechas nacionales en materia de riesgos naturales

El Colegio de Ingenieros de Chile (Sierpe et al., 2009), propone un cronograma para implementar la primera planta nuclear en Chile, realizado en base a los lineamientos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), de Naciones Unidas con sede en Viena (Figura 3.1).

En términos de peligros naturales, la fase más importante es el Anteproyecto, que se define como el periodo que comienza cuando se toma la decisión de considerar la energía nuclear como una opción potencial para producir energía eléctrica y termina con la contratación de un estudio de factibilidad para el Proyecto de la Primera Central Nuclear (Sierpe et al., 2009).

Esta etapa inicial puede describirse como relacionada con actividades preparatorias conceptuales que abarcan todos los estudios y análisis técnicos, económicos y regulatorios necesarios para la justificación del proyecto de la central nuclear (Sierpe et al., 2009).

Se reconoce que la introducción de una central nuclear de potencia y la tecnología nuclear en un país crea nuevos requerimientos específicos sobre la infraestructura, legal y física, del país y exige un compromiso nacional de largo plazo, así como un gran esfuerzo de las diferentes instituciones involucradas (Sierpe et al., 2009).

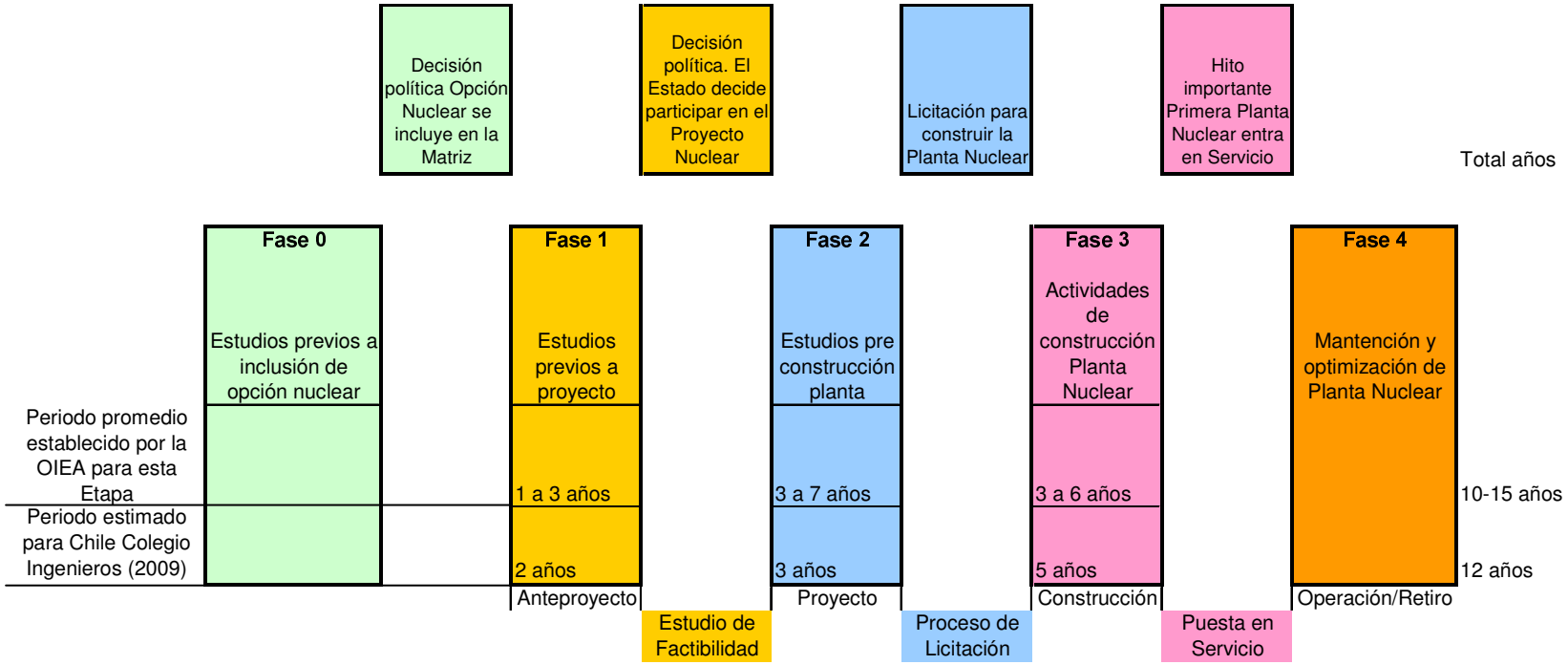


Figura 3.1. Cronograma para implementar la primera planta nuclear en Chile (Tomada de Sierpe et al., 2009).

Las actividades realizadas durante la Etapa de Anteproyecto están principalmente relacionadas a los Ámbitos (Sierpe et el., 2009):

- Institucional: Redacción de Legislación que crea la Institucionalidad del Sector, Normativa Nuclear y Organismo Superior Nuclear, eventual modificación de Legislación Eléctrica, Normas Antisísmicas para centrales nucleares y otras.

- Económico: Estudios relacionados con la rentabilidad, costos y aspectos financieros.

- Ambiental y territorial: Estudio sobre el Impacto Ambiental y de Planificación Territorial. Estudios de Sitio.

- Aceptación pública: Formación de la opinión pública y encuestas.

- Salud: Normas de protección radiológica para personas.

- Recursos Humanos: Capacitación de profesionales y técnicos, para la construcción, operación y fiscalización de las centrales nucleares.

El total de recursos humanos requerido para esta Etapa es poco numeroso, principalmente orientado a dirigir, coordinar y registrar información, pero envuelve un mayor número de organizaciones, privadas y estatales. Por tal propósito, se requiere una dirección gubernamental experta para asegurar la total participación y cooperación de todas las instituciones, nacionales y extranjeras involucradas en esta Etapa (Sierpe et el., 2009).

El periodo promedio establecido por el OIEA para esta etapa es de 1 a 3 años. En caso de Chile el Colegio de Ingenieros de Chile (Sierpe et al., 2009) ha estimado que esta etapa duraría 2 años. A entender de esta consultoría, el plazo mínimo de esta etapa sería de entre 4 y 5 años.

En esta fase deben realizarse los estudios orientados a la selección del sitio y todos los estudios de detalle necesarios para caracterizar la seguridad de una central respecto a peligros naturales. Los estudios sísmicos, hidrometeorológicos, sismotectónicos requieren además, la adquisición de una base de datos confiable mantenida por un período de tiempo que no puede ser menor a 2 años. Estos estudios deben comenzar inmediatamente seleccionados los sitios potenciales para la instalación de una central nuclear.

En general, para la mayor parte de los temas asociados a peligros naturales, el plazo necesario para el desarrollo de esta etapa podrá variar dependiendo del nivel de información disponible en el sitio preseleccionado.

Por otra parte, debido a la falta de información de detalle en muchas regiones del país, para la selección de sitios se debería preseleccionar dos o tres sitios por central nuclear. El plazo estimado para la primera selección se estima en 1 a 2 años.

Los estudios de sitio relacionados con peligros naturales, tomarían de 1 a 4 años, dependiendo del tipo de peligro y de los datos requeridos para su evaluación.

Suiza, un país de sismicidad moderada, ha elegido el camino nuclear, con cuatro sitios (Beznau, Muhleberg, Gosgen y Leibstadt) en los que funcionan cinco centrales. Con el fin de efectuar un análisis detallado de la seguridad de estas centrales, el Organismo Suizo de Regulación de la seguridad Nuclear (HSK), decidió realizar a partir del año 2000 un estudio multidisciplinarlo utilizando las ultimas tecnologías disponibles. Este estudio, que ha durado varios años, se llama proyecto PEGASOS y corresponde al nivel 4 requerido por el Comité Superior de la Peligrosidad Sísmica (SSHAC), que es el más elevado. En el intervinieron especialistas europeos y americanos, además de los suizos.

El último documento para enfrentar el análisis del peligro sísmico probabilístico está contenido en el documento "Implementation of the Senior Seismic Hazard Analysis Comité (SSHAC) Guidelines for Level 3 and 4 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHAs): ––Experience Gained from Actual Applications" (Hanks et al., 2009).

La Figura 3.2 muestra la interacción propuesta por Hanks et al. (2009) para el Nivel 4.

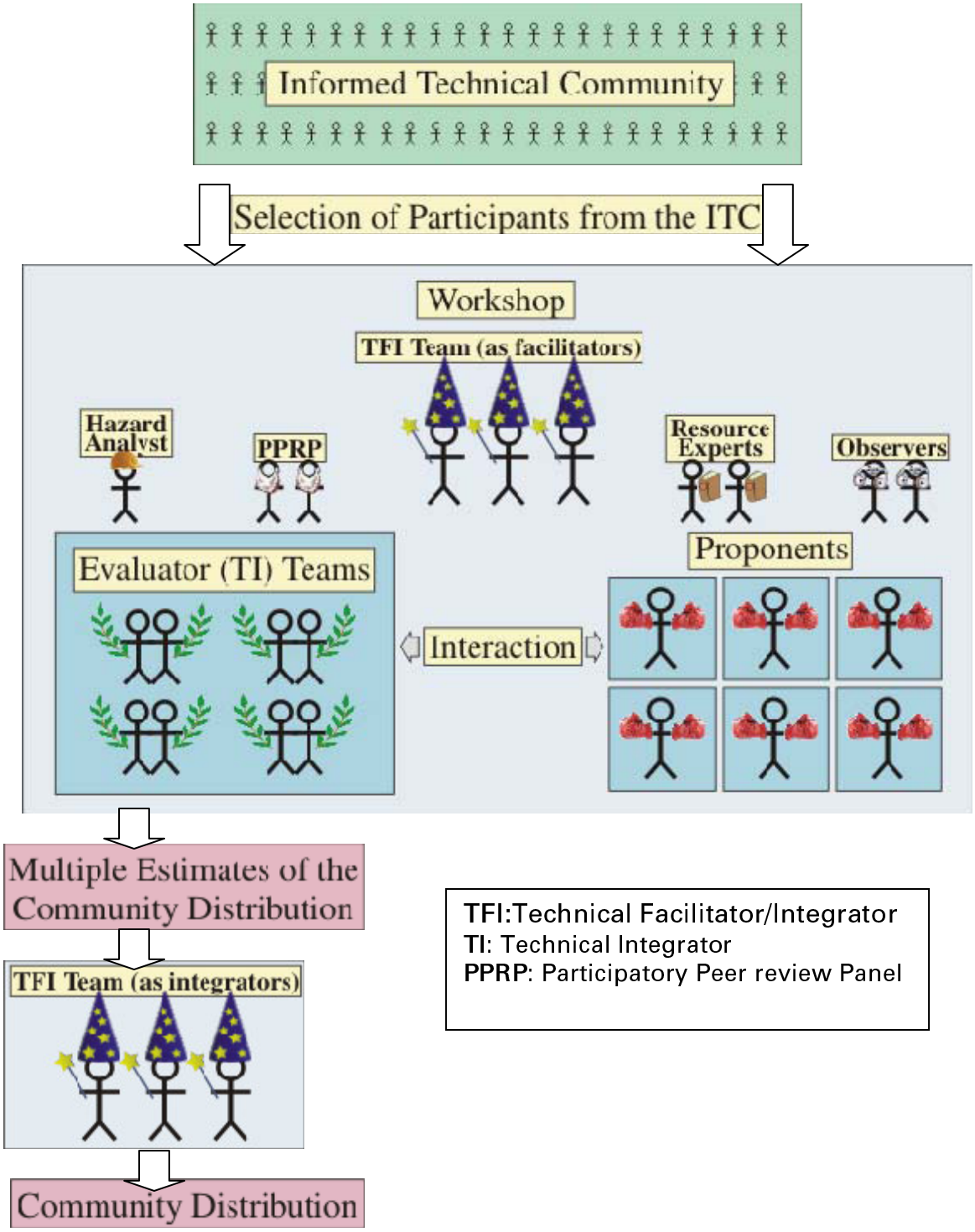


Figura 3.2. Expert interaction for SSHAC Level 4. Tomado de Hanks et al (2009).

De acuerdo a los documentos mencionados, se recomienda la participación de un número importante de expertos con el fin de obtener un mayor consenso en la comunidad y disminuir las incertidumbres.

Por otra parte, en concordancia con la regulación ambiental de Chile, debería además, existir una contraparte de iguales capacidades técnico-científicas que actúe como revisor y fiscalizador por parte del Estado.

En la actualidad en Chile existen del orden de 100 geólogos, geofísicos e ingenieros que han publicado trabajos en tópicos relacionados con peligros naturales. Varios de estos geólogos pertenecen al SERNAGEOMIN, organismo revisor de Estudios de Impacto Ambiental.

En la actualidad son las universidades de Chile, Católica, Concepción, Católica del Norte y recientemente la Universidad de Atacama, las que abordan algunos aspectos de peligros naturales. El SERNAGEOMIN por su parte, también hace investigación en temas relacionados a peligros naturales.

En el tema de sismotectónica se ha creado un par de grupos multidisciplinarios enfocados a entender e investigar en el área y por lo tanto son escasos los chilenos que trabajan en el tema de fallas activas. Más aun, el tema es de reciente desarrollo a nivel mundial y muy reciente en Chile.

En el tema de tsunamis, la unica brecha nacional en este tipo de estudios es la falta de personal con conocimiento acabado en el modelaje de tsunamis, especialmente en la parte costera donde el agua invade tierra adentro.

De acuerdo a lo anterior, se considera que los recursos humanos para el desarrollo de los estudios requeridos en esta etapa existen en el país. Sin embargo, no son suficientes para aplicar la metodología sugerida por la SSHAC.

Como resultado de lo expuesto, se recomienda aumentar los profesionales que trabajan en el ámbito de peligros naturales para suplir las faltas de recursos humanos capacitados. Para ello, el Estado debería financiar programas de becas orientadas a este objetivo y las universidades crear programas para satisfacer esta demanda y aumentar el número de personas que trabajen en el desarrollo de grandes proyectos de ingeniería y peligros naturales.

Paralelamente, la legislación debería ser modificada y los aparatos estatales deberían especializarse para asumir el desafío de revisar los proyectos

asociados a centrales nucleares en forma objetiva en el contexto del estado del arte actual. Una nueva legislación debe establecer claramente todos los requisitos de estudio, escalas y alcances de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), de tal forma de sistematizar y objetivizar tanto los EIA como los criterios y competencia necesaria para su revisión. El sistema actual no esta preparado para enfrentar en forma adecuada esta tarea de la cual depende el progreso y crecimiento energético del país.

3.3 Desafíos y riesgos de la energía nuclear de potencia en el contexto de los riesgos naturales

En el Dictamen del Comité Económico y Social de la Unión Europea (Diario Oficial de la UE, 30 de abril de 2004), el Comité sugiere que, a raíz de este dictamen, se proponga y se lleve a cabo un esfuerzo de información de los verdaderos desafíos de la industria nuclear: la seguridad del abastecimiento, la reducción de las emisiones de CO_2, la fijación de precios competitivos, la seguridad y la gestión de los combustibles irradiados, a fin de permitir a la sociedad civil organizada que analice de forma crítica el contenido de los debates que se le planteen en torno a estas cuestiones.

Una misión del OIEA que visitó el país durante la primera semana del mes de diciembre de 2009, reconoce que el país tiene como principales desafíos pendientes la obtención de un amplio apoyo público; el diseño e implementación de los ajustes legales y regulatorios necesarios; la construcción de una adecuada cultura de seguridad y, el desarrollo de los recursos humanos.

En las Conclusiones y Recomendaciones del 18° Congreso Mundial de la Energía del año 2007 (http://212.125.77.15/wec-geis/wec_info/what_wec_does/BA), se señala que la energía nuclear e hidroeléctrica a gran escala tienen ventajas en cuanto al calentamiento global, estabilidad de costos y factores de alta capacidad que las tornan compatibles con los objetivos de desarrollo sostenible para el mundo del mañana. Deberían seguir jugando un rol importante en la generación de electricidad. En el caso de la energía nuclear se lo puede lograr mediante la ampliación de la vida de las centrales, nuevas centrales, reprocesamiento de combustible utilizado para maximizar su aprovechamiento (si es económicamente viable), y tecnologías innovadoras que se centren en el diseño, licencia, fabricación, construcción, rendimiento y efectivo manejo de los desechos. Sin embargo, la industria nuclear y los gobiernos deben continuar mejorando la aceptación pública de esta importante fuente de energía.

De acuerdo a lo anterior, desde la perspectiva de los peligros naturales, los desafíos más importantes para el desarrollo de un programa nuclear en Chile son la aceptación pública, el desarrollo de una cultura de seguridad y el aumento de recursos humanos capacitados.

Con respecto a la aceptación pública ésta sólo se podrá lograr mediante el traspaso de información confiable, basada en antecedentes fundados y entregada por expertos con credibilidad e independencia de organismos públicos o intereses políticos o económicos. Por otra parte, la incorporación de temas relacionados con peligros naturales desde la educación temprana no sólo ayudaría a la aceptación de una central nuclear sino además, creará ciudadanos informados respecto de su medio ambiente. Es necesario que se propicie una discusión nacional informada sobre las características especiales de los proyectos nucleoeléctricos, que los hacen diferentes respecto a otros grandes proyectos de infraestructura. Esta discusión debe, necesariamente, incluir elementos de riesgo natural; es previsible que poblaciones locales presenten resistencia inicial a la instalación de este tipo de proyectos en sus cercanías. En el caso de otros tipos de proyecto energético, como los hidroeléctricos, la ubicación queda determinada por la existencia del recurso hídrico. Al no existir este condicionamiento en el caso de las centrales núcleo-eléctricas, es necesario que la selección de sitios no aparezca como una decisión arbitraria a los ojos de la población. Sólo a través de la correcta comunicación a toda la población de los riesgos inherentes a las distintas zonas geográficas del paías será posible generar un cierto nivel de consenso respecto del desarrollo de esta fuente de energía.

Para generar una cultura de seguridad, el público debe ser informado respecto de los riesgos a los que están expuestos, crear medidas de prevención y sobretodo aplicar todos los estándares internacionales de seguridad con rigurosidad. Los estudios orientados a caracterizar el sitio donde se podría instalar una central debe ser estudiado por equipos de expertos a todas las escalas recomendadas por el OIEA, con la profundidad necesaria para asegurar que todos los elementos relacionados con peligros naturales son bien conocidos y pueden ser abordados. Por otra parte, debe existir una contraparte científico-tecnológica confiable e independiente que asegure que todos los elementos han sido considerados apropiadamente.

Para contar con el número de profesionales requerido para el desarrollo de estudios de riesgos naturales en proyectos de centrales nucleares, es necesario aumentar las becas para estudiantes que se incorporen a programas específicos creados por las universidades del país. En el corto

plazo, los investigadores que actualmente desarrollan estudios de riesgos naturales deberían visitar instalaciones nucleares en lugares con características del medio físico similares a las chilenas, con el fin de interiorizarse de las metodologías y tecnologías específicas para la evaluación de sitios. Expertos extranjeros deberían participar también en las diferentes etapas de la selección de sitios con el fin de ampliar la discusión.

Indice Parte 3

CAPÍTULO 3 1
REQUERIMIENTOS BÁSICOS EN RELACIÓN A RIESGOS NATURALES PARA PROYECTOS NÚCLEO-ELÉCTRICOS 1
3.1 Requerimientos y acciones necesarias para la evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos. 1
3.1.1 Evaluación técnico-ambiental de proyectos núcleo-eléctricos 1
3.2 Brechas nacionales en materia de riesgos naturales 2
3.3 Desafíos y riesgos de la energía nuclear de potencia en el contexto de los riesgos naturales 8

CAPÍTULO 4
EVALUACIÓN DEL COSTO ADICIONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR NUCLEAR EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD

4.1 Introducción

El 20% de los reactores de potencia del mundo están ubicados en zonas de considerable riesgo sísmico. Varios de estos reactores han estado sometidos a movimientos sísmicos intensos, habiendo tenido en general buen comportamiento. La excepción es la planta nuclear de Kashiwazaki – Kariwa, en Japón, que fue sometida en 2007 a un fuerte terremoto, como se describe más adelante, con epicentro a sólo 16 km de la planta. El sismo produjo numerosos problemas en varios de los 7 reactores de la planta. Los niveles de diseño sísmico fueron sobrepasados y los criterios de diseño están siendo revisados. Mientras tanto, sólo dos de los reactores han sido puestos en operación recientemente, las unidades 6 y 7 lo que ha significado cuantiosas pérdidas.

La evaluación del costo adicional de un reactor nuclear debido a la amenaza sísmica del lugar de emplazamiento es una tarea compleja por cuanto depende mucho de la particularidad del reactor, de las características tectónicas de la zona y del tipo de suelo en el que se va a instalar. Adicionalmente, la experiencia pasada no es un buen indicador por cuanto las exigencias sísmicas han aumentado considerablemente por la experiencia acumulada en los últimos años. Luego del caso Kashiwazaki – Kariwa, los niveles de acción sísmica de diseño están siendo reconsiderados, con aumentos sustanciales de los valores de las aceleraciones. A continuación se hace una breve reseña de los casos más relevantes de reactores que han sido sometidos a movimientos sísmicos y cual fue su comportamiento.

4.2 Experiencia sísmica de reactores

4.2.1 Experiencia en Japón

Japón tiene más de 50 unidades nucleares de generación eléctrica en operación, algunas de las cuales han estado sometidas a movimientos sísmicos intensos, siendo el más crítico el de Kashiwazaki – Kariwa (2007). A continuación los casos más relevantes.

Kobe, 1995.

Un sismo de magnitud 7.2 asoló la zona de Kobe el 17 de enero de 1995. Las aceleraciones máximas registradas fueron 817 Gal horizontal y 332 Gal vertical. Estas aceleraciones fueron mayores que las esperadas, pero ninguno de los reactores que se encontraban en un radio de 200 km del epicentro sufrió daño alguno y los que se encontraban operando continuaron funcionando a plena capacidad. Los reactores de Takahama y Ohi, se encuentran ubicados a 130 km del epicentro al lado del Pacífico de la isla de Honshu. El reactor de Mihama está a aproximadamente 180 km del epicentro. Los reactores de investigación de Osaka y Kyoto tampoco fueron afectados.

Miyagi, 2005.

El 16 de agosto de 2005 los tres reactores Onagawa de Tohuku se apagaron automáticamente al ocurrir un terremoto de magnitud 7.2 al noreste de Honshu. Estaban calibrados para apagarse a una aceleración de 200 Gal. Luego de revisiones exhaustivas las unidades tres unidades fueron reactivadas dentro de los siete meses siguientes.

Niigata Chuetsu-Oki, 2007.

El 16 de julio de 2007 ocurrió un sismo de magnitud 6.8 en Niigata Chentsu-Oki, con epicentro a sólo 16 km de la planta nuclear de Kashiwazaki – Kariwa de 7965 MWe. Los registros sísmicos en la planta sobrepasaron con creces los valores máximos de diseño (170 a 270 Gal para el sismo de diseño S1 y 450 Gal para el sismo S2). En la unidad 1 se midió hasta 829 Gal. En todas las unidades se sobrepasó el sismo S1 de diseño y en las unidades 1, 2 y 4 se sobrepasó el sismo S2. Las cuatro unidades que se encontraban en operación se apagaron y enfriaron automáticamente. Las unidades han estado detenidas por largo tiempo, lo que ha significado grandes pérdidas, del orden de 6.000 millones de USD, de los cuales aproximadamente tres cuartos se deben a aumento del costo de combustible para reemplazar a los 8.000 MWe perdidos. Debido a esta experiencia, los criterios de diseño sísmico han estado siendo modificados en Japón y otros países aumentándose considerablemente los niveles de aceleración de diseño.

Hamaoka.

Las unidades 1 y 2 de Hamaoka, construidas en 1970, fueron apagadas en 2001 y 2004, respectivamente, mientras se estudiaba su rehabilitación para bases de diseño sísmico más exigentes. En 2008 la decisión fue construir una

planta nueva y cerrar la planta existente, a un costo de 1.700 millones de USD, en vez de reforzarla invirtiendo 3.300 millones.

4.2.2 Experiencia en Estados Unidos

En California, los reactores de potencia de San Onofre 2 y 3 (1070 y 1080 MWe, PWR) y Diablo Canyon 1 y 2 (1073 y 1083 MWe, PWR) continuaron operando normalmente luego de un terremoto de magnitud 6.6 en enero de 1994. San Onofre se encontraba a 112 km del epicentro.
Cabe mencionar que la central de Diablo Canyon tuvo que ser reforzada después de su construcción porque se descubrió una falla submarina cercana a ella con potencialidad de generar sismos destructivos, lo cual significó aumentar las exigencias del diseño. Los refuerzos realizados, que se pueden ver en el Anexo 2, significaron una cantidad importante de recursos invertidos.

4.2.3 Experiencia en Taiwan

Debido a un terremoto de magnitud 7.3 en Taiwan central, el 21 de septiembre de 1999, tres reactores en Chinshan y Kuosheng, al norte de la isla, se apagaron automáticamente. Fueron autorizados para funcionar dos días después. Los dos reactores de Maanshan, en el sur, continuaron operando.

4.2.4 Experiencia en Armenia

En diciembre de 1988 un devastador terremoto de magnitud 6.9 ocurrió al nor-oeste de Armenia matando a más de 25.000 personas. Una planta nuclear de origen ruso con dos unidades PWR se encontraba a 75 km del epicentro. Ambas unidades continuaron operando normalmente sin que se reportaran daños.

4.3 Costo actual de reactores de potencia en USA

En la tabla siguiente se encuentran valores aproximados de reactores nucleares en zonas no-sísmicas de USA. Se puede observar una gran variabilidad de los precios totales, entre USD 4.900 y USD 8.750 por kW. Esta variación depende de muchos factores, tales como la ubicación, la calidad del suelo, aspectos financieros, y se puede ver que es mayor que el costo adicional que puede esperarse por causa de la amenaza sísmica. Esto muestra la dificultad que significa la estimación del impacto del peligro sísmico en el costo.

COSTOS ESTIMADOS POR kW PARA NUEVAS PLANTAS EN USA (USD)

Unidades	Fecha	Lugar	Costo Reactor/kW	Total/kW	Total con costo financiero/kW
2 AP1000	Febrero 2008	Turkey Point, Florida	2444 a 3583	3108 a 4540	5780 a 8071
2 AP1000	Marzo 2008	Florida		4500	7000
2 AP1000	Mayo 2008	South Carolina			4900
2 AP1000	Noviembre 2008	Lee site, Carolina			5500
2 AP1000	Noviembre 2008	Bellefonte	2516 a 4649	2800 a 5200	4950 a 8750
2 AP1000	Abril 2008	Georgia			7000

4.4 Informe de Dames and Moore, 1978

La empresa Dames and Moore hizo un estudio para la CCHEN el año 1978 sobre la selección de sitios para emplazamiento de una central núcleo-eléctrica en Chile. El Apéndice 10 de dicho informe aborda el problema de determinar el mayor costo de ingeniería y construcción de la planta en función de la aceleración sísmica del lugar (ver Anexo 3). Ellos concluyen que para aceleraciones del sismo SSE mayores que 600 Gal (que sería el caso chileno), el costo adicional de una central de 1000 Mwe de potencia sería de unos 400 a 600 millones de dólares (de 1978). Considerando que el costo total actual de una central de ese tamaño, incluyendo costos financieros, es del orden de 6.000 millones de USD y que el dolar de 1978 vale aproximadamente 3 veces el actual, el valor anterior representaría entre un 20 y un 30% adicional al costo de la central en zona no sísmica.

4.5 Estimación del costo adicional desglosado

En el cuadro siguiente se puede ver una estimación gruesa de los mayores costos que significaría la ingeniería y construcción de una central nuclear de 1000 kWe en una zona de alta sismicidad. Considerando un valor total de la central de USD 6.000, incluyendo costos financieros, representaría un 14%. Si no se incluyeran los costos financieros, estimando un costo de la central y sus instalaciones anexas de USD 4.000, representaría un 21%.

MAYORES COSTOS ASOCIADOS AL PELIGRO SÍSMICO

		Miles USD
1.	- Costo de estudios del lugar de emplazamiento: exploración, estudios de especialidades, sondajes, etc.	40.000
2.	- Mayores costos en la protección de obras civiles.	200.000
3.	- Costos asociados al diseño de los equipos: núcleo del reactor, intercambiadores de calor, condensadores, tomas de agua, turbinas, generadores, transformadores, líneas de transmisión, tuberías, circuitos eléctricos, etc.	300.000
4.	- Ensayos dinámicos de equipos.	20.000
5.	- Sistemas de anclaje y sujeción.	10.000
6.	- Instrumentación sísmica.	10.000
7.	- Sistemas de control y apagado.	20.000
8.	- Homologación internacional.	40.000
9.	- Mayores costos financieros por mayor plazo.	200.000
	TOTAL	840.000

Indice Parte 3

CAPÍTULO 4 1
EVALUACIÓN DEL COSTO ADICIONAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR NUCLEAR EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD..... 1
4.1 Introducción..... 1
4.2 Experiencia sísmica de reactores..... 1
4.2.1 Experiencia en Japón 1
4.2.2 Experiencia en Estados Unidos..... 3
4.2.3 Experiencia en Taiwan..... 3
4.2.4 Experiencia en Armenia 3
4.3 Costo actual de reactores de potencia en USA..... 4
4.4 Informe de Dames and Moore, 1978 4
4.5 Estimación del costo adicional desglosado 5

CAPÍTULO 5
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Capítulo 1

5.1 Introducción

Sierpe, F., Covarrubias, A y L. Jobet. 2009. Programa de Desarrollo de Centrales Nucleares en Chile, 2009-2030. Comité Nuclear del Colegio de Ingenieros de Chile. Colegio de Ingenieros de Chile. 89 p.

Dames & Moores. Estudio de selección de sitios para emplazamiento de una central núcleo-eléctrica. Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Capítulo 2

5.2 Geología

Arnold, M., Chen, R., Deichmann, U., Dilley, M., Lerner-Lam, A. Pullen, R. y Z.Trohanis. 2006. Natural Disaster Hotspots. Case Studies. Disaster Risk management series. World Bank Report N°6. pp. 184

Auboin, J., Borrello, A., Cecioni, G., Charrier, R., Chotin, P., Frutos, J., Thiele, R. & Vicente, J.-C. 1973b. Esquisse paléogéographique et structurale des Andes méridionales. Revue de Géographie Physique et Géologie Dynamique, 15(1/2), 11–72.

Cahill, T. & Isacks, B. L. 1992. Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. Journal of Geophysical Research, 97, 17503–17529.

Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M., 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. The Geology of Chile, Eds. Moreno, T. y Gibbons, W., Chapter 3, 21-114.

Gansser, A. 1973. Theories and facts on the Andes. Journal of the Geological Society, London, 129, 93–131.

IAEA, 2004. Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants. No. NS-G-3.6, 67 pp.

SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4. Santiago.

5.3 Volcanes

Cofré, C., 1956. Erupción del volcán Nilahue. Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 13(7), 131p.

Dreher, S., Rabbia, O., Demicheles, A., Neira, S. & Winter, J. 2005. New observations on adakites from Cook Island, Austral Volcanic zone, Chile. Abstracts European Geosciences Union Meeting, 7, 08094.

Francis, P., 1993. Volcanoes a planetary perspectiva. Oxford University Press Inc., New York, USA, 443p.

González-Ferrán, O. 1995. Volcanes de Chile. Instituto Geografico Militar, Santiago.

Gardeweg, M. & Ramírez, C. F. 1987. La Pacana Caldera and the Atana Ignimbrite; a major ash-flow and resurgent caldera complex in the Andes of northern Chile. Bulletin of Volcanology, 49, 547–566.

Hall, A., 1987. Igneous Petrology. John Wiley & Sons, Inc., USA, 573p.

Hildreth, W. & Drake, R. E. 1992. Volcán Quizapu, Chilean Andes. Bulletin of Volcanology, 54, 93–125.

Larsson, W. 1937. Vulkanishe Asche vom Ausbruch des chilenishen Vulkans Quizapu 1932. in Argentina gesammelt. Geological Institute of Upsala Bulletin, 26, 27–52.

Lara, L., 2009. The 2008 eruption of the Chaiten Volcano, Chile: a preliminary report. Andean Geology, 36(1), 125-129.

Lindsay, J., De Silva, S. L., Trumbull, R., Emmermann & Wemmer, K. R. 2001a. La Pacana caldera, N. Chile: a re-evaluation of the stratigraphy and volcanology of one of the world's largest resurgent calderas. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 106, 145–173.

Lindsay, J., Schmitt, A., Trumbull, R., De Silva, S. L., Siebel, W. & Emmermann, R. 2001b. Magmatic evolution of the La Pacana Caldera system,

Central Andes, Chile: compositional variation and contrasting eruption mechanisms of two cogenetic, large volume felsic ignimbrites. Journal of Petrology, 42, 459–486.

M.G. Best, & E.H. Christiansen, 2001. Igneous Petrology. Blackwell Science Inc., USA, 458p.

Naranjo, J. A. & Moreno, H. 2005. Geología del Volcán Llaima, Región de la Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 88, escala 1:50.000.

Naranjo, J. A. & Stern, C. R. 1998. Holocene explosive activity of Hudson volcano, southern Andes. Bulletin of Volcanology, 59, 291–306

Naranjo, J. A., Moreno, H. & Banks, N. G. 1993. La erupción del volcán Hudson 1991 (46°S), Región de Aisén, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín, 44.

Orihashi, Y., Naranjo, J. A., Motoki, A., Sumino, H., Hirata, D., Anma, R. & Nagao, K. 2004. Quaternary volcanic activity of Hudson and Lautaro volcanoes, Chilean Patagonia: New constraints from K-Ar ages. Revista Geologica de Chile, 31, 207–224.

Petit-Breuilh, M. E. 1994. Contribucion al conocimiento de la cronologia eruptiva historica del Volcan Villarrica, 1558–1985. Revista Frontera, 13, 71–99.

Petit-Breuilh, M. & Lobato, J. 1994. Análisis comparativo de la cronología eruptiva histórica de los volcanes Llaima y Villarrica (38°–39° L.S.). Actas 7th Congreso Geológico Chileno, Concepción, 1, 366–370.

Reich, M., Zuñiga A., Amigo A., Vargas G., Morata D., Palacios C., Parada M.A., Garreaud R., 2009. Formation of cristobalite nanofibers during explosive volcanic eruptions. Geology, 37(5): 435-438 (doi 10.1130/G25457A.1).

SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4. Santiago.

Stern, CH.R., Moreno, H., López-Escobar, L., Clavero, J., Lara, L., Naranjo, J., Parada, M.A., Skewes, A., 2007. Chilean volcanoes, in The Geology of Chile, Moreno and Gibbons (Eds.), The Geological Society of London, 395 p.

Simkin, T. & Siebert, L. 1994. Volcanoes of the World. Geoscience Press, Smithonian Institute, Tucson, Arizona.

Viramonte, J.G., Seggiaro, R., Beochia, R., Petrinovic, L., 1994. Erupción del volcán Láscar, Chile. Andes Centrales (abril 1993). In: Resúmenes Cuarta Reunión Int. De Colina, México, 149-151.Stern,CH.R., Moreno, H., López-Escobar, L., Clavero, J., Lara, L., Naranjo, J., Parada, M.A., Skewes, A., 2007. Chilean volcanoes, in The Geology of Chile, Moreno and Gibbons (Eds.), The Geological Society of London, 395 p.

5.4 Sismicidad

Araya, R. y Saragoni, G. R. Capacidad de los movimientos sísmicos de producir daño estructura. Publicación SES I 7/80 (156), División Ingeniería Estructural, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Agosto, 1980.

Araya, R. y Saragoni, G. R. Earthquake accelerogram destructiveness potencial factor, 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, U.S.A, 1984.

Arias, A. 1969. A Measure of Earthquake Intensity. Seminal on Seismic Design of Nuclear Power Plants, Massachussets Institute of Technology, Cambridge, Massachussets, USA.

Barrientos, S. E y Kausel, E. 1993. Características de la Sismicidad Andina Superficial en la Zona Central de Chile, VI Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile, Vol. 1, pp. 3-9.

Barrientos, S. E. y Vera E. E. 1995. Shallow crustal seismicity in Central Chile. SSA, Seismological Research Letters 66 (2).

Barrientos, S. E.; Vera, E., Alvarado, P. y Monfret, T. 2004. Crustal seismicity in central Chile. Journal of South American Earth Science, Vol. 16, pp. 759-768.

Beck, S., S. Barrientos, E. Kausel and M. Reyes (1998) Source Characteristics of Historic Earthquakes along the Central Chile Subduction Zone; Journ. S. Am. Earth Sci., v. 11, pp. 115-129

Boroschek, R., Comte, D., Soto, P., Delouis, B., Giardini, R., Astroza, M., Campos, J., Kausel, E., Moroni, M. O., Pardo, M., Saragoni, R. y Sarrazin, M. 2001. Terremoto Superficial de Chusmiza. Informe RAGIC 01/01, Red Conjunta Acelerógrafos, Deptos. de Geofísica e Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Boroschek, R., Soto, P., Leon, R. 2004. Informe Preliminar Registros 28 de Agosto 2004. Informe RENADIC 04/09. Red Nacional de Acelerógrafos, Depto. de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Building Seismic Safety Council (BSSC). 2000. The 2000 NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures. Part I (Provisions) and Part II (Commentary), FEMA 368/369, Washington DC.

Cande, S.; Leslie, R.B. 1986. Late Cenozoic tectonic of the Southern Chile Trench. Journal of Geophysical Research 91: 471-496.

CISTERNAS, A., y VERA, E., Sismos históricos y recientes en Magallanes; Magallania, Vol. 36, Núm. 1, junio-sin mes, 2008, pp. 43-51, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

Earthquake Engineering Research Institute (EERI), 1995a. Northridge Earthquake, Reconnaissance Report, Vol. 1. Earthquake Spectra, 1995.

Earthquake Engineering Research Institute (EERI), 1995b. The Hyogo-Ken Nambu Earthquake, January 17, 1995, Preliminary Reconnaissance Report, 1995.

Flores, R., Arias, A., Jenschke, V. y Rosenberg, L. A. 1960. Engineering Aspects of the Earthquake in the maipú Valley, Chile, in 1958. Proc. II World Conference on Earthquake Engineering, Vol I, 1960, pp 397-408.

Gorring, M.L.; Kay, S.M.; Zeitler, P.K. 1997. Neogene Patagonian Plateau lavas: continental magmas associated with ridge collision at the Chile Triple Junction. Tectonics, 16: 1-17.

Hernández, J. M. y Saragoni, G. R. 2002. Estudio de la Respuesta No Lineal en Condiciones de Colapso Sísmico. VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Valparaíso, Chile.

Ibaceta, G. y Saragoni, G. R. 2002.Criterio de Diseño Basado en la Potencia Sísmica Aplicada a Terremotos Impulsivos. VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Valparaíso, Chile.

Katayama, T. 2004. Earthquake Disaster Risk Mitigation Befote and Alter the 1995 Kobe Earthquake. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada, 2004.

Legrand, D., Delouis. B., Dorbath, L., David, C., Campos, J., Marquéz, Thomson, Comte, D.; Source parameters of the Mw=6.3 Aroma earthquake of July 24, 2001 (northern Chile) and its aftershock sequence: a crustal event following the Mw=8.4 Arequipa subduction earthquake (southern Peru); Accepted to Journal of South American Earth Sciences, 2006.

Leyton, F., Adriana Pérez, Jaime Campos, Rodrigo Rauld, and Edgard Kausel, Anomalous Seismicity in the Lower Crust of the Santiago Basin, Chile; Physics of the Earth and Planetary Interiors 175 (2009) 17–25; doi:10.1016/j.pepi.2008.03.016.

Lommnitz, C. 1960. A study of the Maipú Valley Earthquake of September 4, 1958, Proc. II World Conference on Earthquake Engineering, Vol I, 1960, pp 501-520.

Lommnitz, C. 1961. Los Terremotos del 4 de Septiembre de 1958 en el Cajón del Maipú. Ed. Universitaria. Apartado del volumen 18 de los Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Instituto de Geofísica y Sismología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Martin, A. (1990). Hacia Una Nueva Regionalización y Cálculo del Peligro Sísmico en Chile, Memoria de Título Ing. Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, pp 207.

Medina, M. A. (1998). Análisis Comparativo de Métodos de Regresión de Atenuación de Aceleración Máxima; Memoria Título Ing. Civil, Fac. Ciencias Fís. Y Mat., U de Chile, pp 196.

Motoki, A., Orihashi, Y., Naranjo, J.A., Hirata, D., Skvarca, P., and Anma, R., Geologic reconnaissance of Lautaro Volcano, Chilean Patagonia, Rev. Geol. Chile, v33, n.1, doi: 10.4067/S0716-02082006000100008, ene. 2006.

PELAYO, A. M., Y D. A. WIENS 1989 Seismotectonics and relative plate motion in the Scotia Sea region. J. Geophys. Res., 94: 7293-7320.

Piderit, E. Estudio de los Sismos del Cajón del Maipú el año 1958. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Depto. de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Rauld, R. 2002. Antecedentes morfoestructurales del frente cordillerano de Santiago Oriente, entre el Río Mapocho y la Quebrada de Macul. Memoria para optar al título de Geologo. Depto. de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Rojas, K. y Saragoni, G. R. 2002. Fundamentos empíricos para las Bases de un Diseño Sísmico Basado en la Potencia de los Acelerogramas. VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Valparaíso, Chile.

Ruiz, S. y Saragoni, G. R. 2004. Características de los acelerogramas y terremotos Sudamericanos. XXXI Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural, Mendoza, Argentina.

Ruiz, S. y R. Saragoni (2005). Fórmulas de Atenuación para la Subducción de Chile Considerando los dos Mecanismos de Sismogénesis y los Efectos del Suelo. Congreso ACHISINA, Concepción.

Ruiz, S. y Saragoni, G. R. 2005. Comparación de los terremotos chilenos con los terremotos de subducción del norte, centro y sur de américa. Enviado a IX Jornadas de Sismología e Ingeniería Antisismica, Concepción, Chile.

Sadigh, K., Chang, C. Y., Egan, J. A., Makdisi, F. & Youngs, R. R. 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. Seismological Research Letters, vol. 68, pp.180-189.

Saragoni, G. R., J. Crempien, and R. Araya, 1982. Experimental measurement of Chile seismic strong motion. Revista del I.D.I.E.M, Universidad of Chile, Chile, 21, 67-87.

Saragoni G. R., Holmberg, A. y Saez, A. 1989. Potencial Destructivo y Destructividad del Terremoto de Chile de 1985. V Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile.

Saragoni, G. R. 1996. Un cuarto de Siglo de Grandes Terremotos y su influencia en el Diseño Sismico. I Seminario Dominicano de Ingeniería Sísmica. IX Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica. Republica Dominicana, 1996.

Saragoni, G. R y Rojas, M. 2000. Análisis de la Potencia Sísmica de Acelerogramas Destructivos. XXIX Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural, Mendoza, Uruguay.

Saragoni, G. R. 2004. Caracteristicas Destructivas de los Acelerogramas de Fuente Cercana y los Grandes Terremotos Argentinos. XVIII Jornadas Argentinas de Ingenieria Estructural. Bs. Aires, Argentina.

Saragoni, G. R., Astroza, M., Ruiz, S. 2004. Comparative study of subduction earthquake ground motion of north, central and south America. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, Paper nº 104.

Saragoni, G. R y Rojas, F. 2004. Identification and Analysis of Seismic Waves in the Structural Failure Due to Near Source Earthquake. En preparación.

Saragoni, G. R y Ruiz, S., 2004. Modelos elásticos 1D para la respuesta dinámica de suelos obtenidas del análisis de acelerogramas de sismos de Chile Central. Proc. 5to Congreso Chileno de Geotecnia, Chile. V Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile.

Scholz, C., 1990. The mechanics of earthquakes and faulting. Cambridge, Cambridge university press. 438p.

Takahashi, T., Asano, A., Saiki, T., Okada, H., Irikura, K., Zhao, J., Zhang, J., Thio, H., Somerville, P., Fukushima, Y. y Fukushima, Y. 2004. Attenuation Models for Response Spectra Derived from Japanese Strong-Motion Records Accounting for Tectonic Source Types. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada, 2004.

Stern, Ch., Skewes, M.A., and Durán, M., Volcanismo Orogénico en Chile Austral, Primer Congreso Geológico Chileno, F195-F212, 2-7 Agosto, Santiago, 1976.

Valenzuela, J. G. y Saragoni, G. R. 2002. Riesgo Sísmico Asociado a Terremotos Corticales en Chile: Identificación del Sistema de Fallas Caro-Elizalde, Sur de Chile. VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Valparaíso, Chile.

5.5 Fallas activas en Chile

Alvarado, P., Barrientos, S., Saez, M., Astroza, M. y Beck, S. (2009). Source study and tectonic implications of the historic 1958 Las Melosas crustal earthquake, Chile, compared to earthquake damage. Physics of the Earth and Planetary Interiors 175(1-2): 26-36.

Andean Subduction Project (ASP, 2009). Descripción y fundamentos del programa. http://tectonics.caltech.edu/andes/people/people.php.

Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R. y Kausel, E. (2009). The West Andean Thrust (WAT), the San Ramón Fault and the seismic hazard for Santiago (Chile). En prensa, Tectonics.

Armijo, R. y R. Thiele. (1990). Active faulting in northern Chile: ramp stracking and lateral decoupling along a subduction plate boundary?. Earth and Planetary Science Letters, 98, 40-61.

Carrizo, D., González, G. y T. Dunai. 2008. Constricción neógena en la Cordillera de la Costa, norte de Chile: neotectónica y datación de superficies con ^{21}Ne cosmogénico. In: Revista Geológica de Chile 35 (1): 1-38. Enero, 2008.

Cembrano, J., González, G., Arancibia, G., Ahumada, I., V. Olivares, V. y V. Herrera. 2005. Fault zone development and strain partitioning in an extensional strike-slip duplex: A case study from the Mesozoic Atacama fault system, Northern Chile. Tectonophysics 400 (2005) 105– 125

Cembrano, J., Lavenu, A., Yáñez, G. (Coordinadores), Riquelme, R., García, M. y G. Hérail. 2007. Neotectonics. . *In*: MORENO, T. & GIBBONS, W. (eds) *The Geology of Chile*. The Geological Society, London, 231–261.

Farías, M., Comte, D. y R. Charrier. 2006. Sismicidad superficial en Chile Central: implicancias para el estado cortical y crecimiento de los Andes Centrales Australes. *In:* Actas XI Congreso Geológico Chileno. Vol. 2, Geodinámica Andina, pp 403 -406.

González, G., Dunai, T., Carrizo, D. y R. Allmendinger. 2006. La edad de la deformación tardía del Sistema de Fallas de Atacama según la datación de superficies mediante 21Ne. In: Actas XI Congreso Geológico Chileno. Vol. 2, Geodinámica Andina, pp. 415 -418.

Greenpeace (on line). The Ecemis Fault line and the potential for a nuclear catastrophe at Akkuyu Bay.
http://archive.greenpeace.org/nuclear/reactor/turkey/ecemis.html

Jolley, E. J., Turner, P., Williams, G.D., Hartley, A.J. y S. Flint. 1990. Sedimentological response of an alluvial system to Neogene thrust tectonics, Atacama Desert, northern Chile. Journal of the Geological Society 1990; v. 147; p. 769-784.

Lavenu, A.; Cembrano,J.; 1999. Compressional and transpressional - stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in fore arc and intra-arc zones (Andes of Central and Southern Chile). Journal of Structural Geology, 21, 1669-1691.

Lavenu, A. y R. Thiele. (2000). Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Chile Proyecto Internacional de la Litósfera, Grupo de Trabajo II-2, Principales Fallas Activas del Mundo. Proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey (USGS), Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y Universidad de Chile (UCH). Representación digital por Richard L. Dart (USGS). Proyecto coordinado por Michael N. Machette (Co-chairman, ILP Grupo de Trabajo II-2).Escala 1:4.000.000.

Lavenu, A. 2005. Fallas Cuaternarias de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín, No. 62, 71 p. Santiago.

Lavenu, A. y J. Cembrano. 2008. Deformación compresiva cuaternaria en la Cordillera Principal de Chile central (Cajón del Maipo, este de Santiago). Revista Geológica de Chile 35 (2): 233-252. Julio, 2008.

Lomnitz, C. (1961). Los Terremotos del 4 de septiembre de 1958 en el Cajón del Maipo. Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. pp. 279 - 306.

Melnick, D., Bookhagen, B., Strecker, M., Echtler, H., 2009. Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds

to millions of years, Arauco peninsula, Chile. Journal of Geophysical Research, 114, B01407, doi:10.1029/2008JB005788.

Niemeyer, H. 1999. Nuevos datos cinemáticos para la Falla Sierra Castillo en Quebrada del Carrizo, Precordillera de la Región de Atacama, Chile. Revista geológica de Chile, V. 26 N°2 Santiago.

Rauld, R., Vargas, G., Armijo, R., Ormeño, A., Valderas, C. y Campos, J. (2006). Cuantificación de escarpes de falla y deformación reciente en el frente cordillerano de Santiago. Actas XI Congreso Geológico Chileno (CD-ROM), Antofagasta, Chile.

Rauld, R. (2002). Análisis morfoestructural del frente cordillerano de Santiago oriente, entre el río Mapocho y la quebrada de Macul. Trabajo de título de geólogo. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. 57 pp.

Sepúlveda, S. A., Astroza, M., Kausel, E., Campos, J., Casas, E. A., Rebolledo, S. y Verdugo, R. (2008). New Findings on the 1958 Las Melosas Earthquake Sequence, Central Chile: Implications for Seismic Hazard Related to Shallow Crustal Earthquakes in Subduction Zones. Journal of Earthquake Engineering 12(3): 432 - 455.

SERNAGEOMIN. 2008. Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las Comunidades Andinas. 2008. Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes.Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, no. 7, 320 p., 1 CD-ROM.

UNIVERSIDAD DE CHILE. 2008. Estudio Línea Base Geología, Recursos Hídricos y Recursos Geológicos, Central Río Cuervo. Departamento de Geología para Energía Austral.

World Nuclear Association (WNA).2009. Nuclear Power Plants and Earthquakes. http/www.world-nuclear.org/info/inf18.html.

5.6 Tsunamis

Fernández Canque, M., Arica 1868 um tsunami y um terremoto, Universidad de Tarapacá, Arica, 2007.

lida, K., 1959. Earthquake generation and earthquake fault. J. Eart Sci., Nagoya Univ. Japan, vol 7(2), pp 98-107.

Imamura, A., 1949. List of tsunamis in Japan, Tisin. V 2., ser. 2, pp-23-28.

Kausel, E. 1986. Los terremotos de Agosto de 1868 y de Mayo de 1877 que afectaron el sur del Perú y el norte de Chile. Discurso de incorporación a la Academia Chilena de Ciencias. Bol. de la Academia Chile de Ciencias, N1, vol 3.

Lomnitz, C.,1970. Major Earthquakes and Tsunamis in Chile During the Period 1535 to 1953, Geol. Rundsch., V. 59, pp 938-960.

Montessus d Ballore, F., 1911-1916. Historia Sísmica de ls Andes Meridionales, Barcelona-Santiago de Chile, Imprenta Cervantes, 6 vol.

Naranjo, J. A., M. Arenas, J. Clavero, O. Muñoz, 2009. Mass movement-induced tsunamis: main effects during the Patagonian Fjordland seismic crisis in Aisén (45° 25´S), Chile. Andean Geology 36(1): pp. 137-145.

Sepúlveda, S. and A. Serey, 2009. Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the April 21, 2007 Aisén earthquake, southern Chile (45.5°S). Andean Geology 36(1): pp. 131-136.

Sievers, H.A., G. Villegas, G. Barros y Saint-Amand, 1963. The seismic sea wave of 22 May along the Chilean coast. Seism. Soc. Am. Bull., 53:1125-1190.

Soloviev,S. L. y Ch. N. Go, 1984. Catalogue of Tsunamis in the Eastern Shore of the Pacific Ocean. Canadian translation of Fisheries and Acquatic Sciences N 5078.

Ward, S.N., 2009. Tsunamis, Encyclopedia of Solid Earth Geophysics, Springer Press 2010.

5.7 Remociones en masa

Antinao R., J. L. ; Naranjo S., J. A. ; Iriarte D., S.; Fernández, J. C. ; Santibáñez, I.; Venegas, M.; Villarroel, P. 2000. Segundo informe preliminar de evaluación del temporal pluvial que afectó Santiago el 14 de Junio de 2000. Sernageomin: 16 h., il, fot.col, Santiago.

Díaz B., Carlos. 1971. Licuación de arenas en Puerto Montt durante el sismo de Mayo de 1960. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Donoso D., Claudia. 1999. Estabilidad sísmica de presas de relave. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

El Mercurio de Antofagasta, 2008. Investigan efectos de sismos en la región. Viernes 14 de marzo de 2008.
http://www.mercurioantofagasta.cl/prontus4_noticias/site/artic/20080314/pags/20080314000517.html

Espinace A., Raúl; Villavicencio A., Gabriel. 2004. Ensayos de penetración para el control de operación de tranques de relave. El penetrómetro PANDA. Presentación Expomin 2004: Innovación en el Control de Operación y Abandono de Tranques de Relave.

Fernández, J.C.; Arenas, M.A. 2002. Flujos de detritos del 3 de Mayo de 2002 en caleta Buill, comuna de Chaitén, X región, Chile [CD]. En Simposio Internacional de Geología Ambiental para Planificación del Uso del Territorio, Puerto Varas, Chile, 4-6 de Noviembre 2002.

Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile. Subdirección Nacional de Geología. Boletín Nº 59.

Hauser, A. 2000 Remociones en masa entorno a la ciudad de Concepción, VIII Región, generadas por lluvias de gran intensidad. Informe inédito, Servicio Nacional de Geología y Minería, 26 p.

Kramer, S.L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, 652 p.

Lara, M. 2007. Metodología para la Evaluación y Zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar al Título de Geólogo y al grado de Magíster en Ciencias. Departamento de Geología, U. de Chile.

Lara, M., Sepúlveda, S.A. 2009. Landslide susceptibility and hazard assessment in San Ramón ravine, Santiago de Chile, from an engineering geological approach. Environmental Earth Sciences. DOI 10.1007/s12665-009-0264-5

Mardones, M. 2006. Contribución a la gestión de los desastres naturales: procesos geológicos e hidrológicos asociados al evento pluviométrico del 26 de junio del 2005 en Concepción, Chile. En Congreso Geológico Chileno, 11º, Antofagasta, Chile, 7-11 Agosto 2006.

Marquardt, C.; Naranjo S., J. A. 2005. Informe final sobre efectos del sismo del 13 de Junio 2005 en la región de Tarapacá. SERNAGEOMIN: 14 h., il, fot.col, Santiago.

Marquardt, C. ; Naranjo S., J. A.; Lavenu, A. 2006. Efectos geológicos del sismo del 13 de Junio 2005, Región de Tarapacá. En Congreso Geológico Chileno, 11°, Antofagasta, Chile, 7-11 Agosto 2006.

Milovic, J. J.; Arenas A., M. 2004. Flujo de detritos del 28 de Agosto de 2004, ruta T-55, Futrono-Llifén, X región de Los Lagos. Sernageomin, Oficina Técnica Puerto Varas: 17 p., il, fot.col, Puerto Varas.

Moreno H., Jara, C. 2006. Remociones en masa en el Río Trancura, Araucanía, Chile: el flujo de detritos de Curarrehue, Mayo 2005. En Congreso Geológico Chileno, 11°, Antofagasta, Chile, 7-11 Agosto 2006.

Naranjo S., J.A. 2005. A rare case of grass flor induced by the M8.4 Arequipa earthquake, June 2001, in the Altiplano of northern Chile. Quaternary Research v. 64: pp. 242-248.

Naranjo S., J. A. ; Villarroel A., P. 2001. Informe sobre los efectos del sismo del 23 de Junio 2001 en Arica. SERNAGEOMIN: 11 h., il.; fot.col, Santiago

Naranjo S., J. A.; Moreno R., H. 2004. Laharic debris-flow from Villarrica Volcano. Boletín (n.61): pp.28-38.

Naranjo S., J. A. ; Welkner, D. 2004. Informe sobre efectos del sismo del 28 de Agosto 2004 en las Nacientes del Río Teno, VII Región. Sernageomin, Subdirección Nacional de Geología, Depto. de Geología Aplicada: 10 h., il, fot.col, Santiago.

Naranjo S., J. A.; Hauser Y., A. 2005. Informe geológico sobre efectos de las lluvias torrenciales del 26 y 27 de Agosto de 2005 en el sector oriente de Santiago. SERNAGEOMIN, fot.col, Santiago.

Naranjo, J. A., Landon, N. 2006. Flujos de detritos que afectaron el valle del Cochiguás, 15 de febrero de 2006, comuna de Paihuano, Región de Coquimbo. En Congreso Geológico Chileno, 11°, Antofagasta, Chile, 7-11 Agosto 2006.

Naranjo S., J. A.; Arenas, M. ; Ramírez, P. 2006. Remociones en masa causadas por las precipitaciones de los días 9 al 11 de Julio de 2006, en algunos sectores de la provincia de Concepción. SERNAGEOMIN: 18 h., fot.col, Santiago.

Naranjo, J. A.; Ramírez, P.; Clavero, J.; Hauser, A. 2006. Remociones en masa causadas por lluvias torrenciales, junio 26-27, 2005 Concepción, VIII Región. En Congreso Geológico Chileno, 11°, Antofagasta, Chile, 7-11 Agosto 2006.

Naranjo, J. A.; Ramírez, P. 2006. Remoción en masa en el Km. 43 de la ruta 160, comuna de Lota, 14 de Agosto de 2006. SERNAGEOMIN: 10 h., il, fot.col, Santiago.

Naranjo, J.A.; Marín, M.; Fernández, J.; Falcón, F.; Huerta, S. 2009. Remociones en masa ocurridas el 6 de septiembre de 2009 en Ruta G-21, Región Metropolitana. Informe inédito, Servicio Nacional de Geología y Minería, 17 p.

Pinto, L.; Hérail, G.; Sepúlveda, S.A.; Krop, P. 2008. A Neogene giant landslide in Tarapacá, northern Chile: A signal of instability of the westernmost Altiplano and palaeoseismicity effects. Geomorphology [online] vol.102, pp. 532-541. doi:10.1016/j.geomorph.2008.05.044

Quezada, J. 2006. Fenómenos climáticos anómalos en el litoral del norte de Chile y su impacto en el relieve. En Congreso Geológico Chileno, 11°, Antofagasta, Chile, 7-11 Agosto 2006.

Rebolledo, S.; Elgueta, S.; Carrasco, N.; Vatin Perignon, N.; Kieffer, G.2000. Zonificación del peligro de remociones en masa en San José de Maipo, valle del Río Maipo, Reg. Metropolitana. En Congreso Geológico Chileno, IX°, Puerto Varas, Chile, 31 jul-4 Agosto 2000: actas vol1.

Santibáñez R., Daniel. 2006. Determinación del potencial de licuefacción de suelos no cohesivos saturados bajo cargas sísmicas usando el ensayo de penetración estándar. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor, Escuela Ingeniería y Construcción, Universidad Austral de Chile.

Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S., Lara, M., Padilla, C., 2006. Landslide hazards in Santiago, Chile: an overview. 10° Congreso International Association of Engineering Geology and the Environment, Nottingham, Reino Unido. Paper No. 105 (CD-Rom)

Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S., Vargas, G., 2006. Recent catastrophic debris flows in Chile: geological hazard, climatic relationships and human response. Quaternary International, Vol. 158, 83-95.

Sepúlveda, S.A., Serey, A., Lara, M., Rebolledo, S., 2008. Deslizamientos cosísmicos asociados al terremoto del Fiordo Aysén de 2007, sur de Chile. Actas XVII Congreso Geológico Argentino, Jujuy, Vol. 1, 316-317.

Sepúlveda, S.A.; Serey, A. 2009. Inestabilidades de laderas de roca generadoras de tsunami durante el terremoto de Aisén del 21 de abril de 2007, sur de Chile (45.5° S). AndGeo [online]. 2009, vol.36, n.1, pp. 131-136. ISSN 0718-7106. doi: 10.4067/S0718-71062009000100010

Toro, R. 2005. Evaluación de peligros de remoción en masa en el sector de Caunahue, Lago Ranco, X Región. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Troncoso, Jorge. 1992. Fundamentos de ingeniería geotécnica antisísmica. Ediciones Universidad Católica. 144 p.

USGS, 2007. Investigation of the M 6.6 Niigata-Chuetsu Oki, Japan, earthquake of July 16, 2007. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2007-1365.

Vargas, G.; Ortlieb, L.; Rutlant, J. 2000. Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur. Revista Geológica de Chile. V. 27. N°2, p. 157-176.

UNIVERSIDAD DE CHILE. 2008. Estudio Línea Base Geología, Recursos Hídricos y Recursos Geológicos, Central Río Cuervo. Departamento de Geología para Energía Austral.

Capítulo 3

Diario Oficial de la Unión Europea. Desafíos de la energía nuclear en la producción de electricidad. Dictamen del Comité Económico y Social de la Unión Europea.30 de abril de 2004.

Hanks, T.C., Abrahamson, N.A., Boore, D.M., Coppersmith, K.J, and Knepprath, N.E., 2009, Implementation of the SSHAC Guidelines for Level 3 and 4 PSHAs--experience gained from actual applications: U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1093, 66 p. [http://pubs.usgs.gov/of/2009/1093/]

18° Congreso Mundial de la Energía, Buenos Aires, Argentina. 2007. Mercados Energéticos: Los desafíos del nuevo milenio; Energía para la gente, energía para la paz. Borrador de conclusiones y recomendaciones. http://www.worldenergy.org/documents/ba_conclusions_es.pdf

Sierpe, F., Covarrubias, A y L. Jobet. 2009. Programa de Desarrollo de Centrales Nucleares en Chile, 2009-2030. Comité Nuclear del Colegio de Ingenieros de Chile. Colegio de Ingenieros de Chile. 89 p.

Indice Parte 3

CAPÍTULO 5 1
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 1
Capítulo 1 1
5.1 Introducción 1
Capítulo 2 1
5.2 Geología 1
5.3 Volcanes 2
5.4 Sismicidad 4
5.5 Fallas activas en Chile 9
5.6 Tsunamis 11
5.7 Remociones en masa 12
Capítulo 3 16

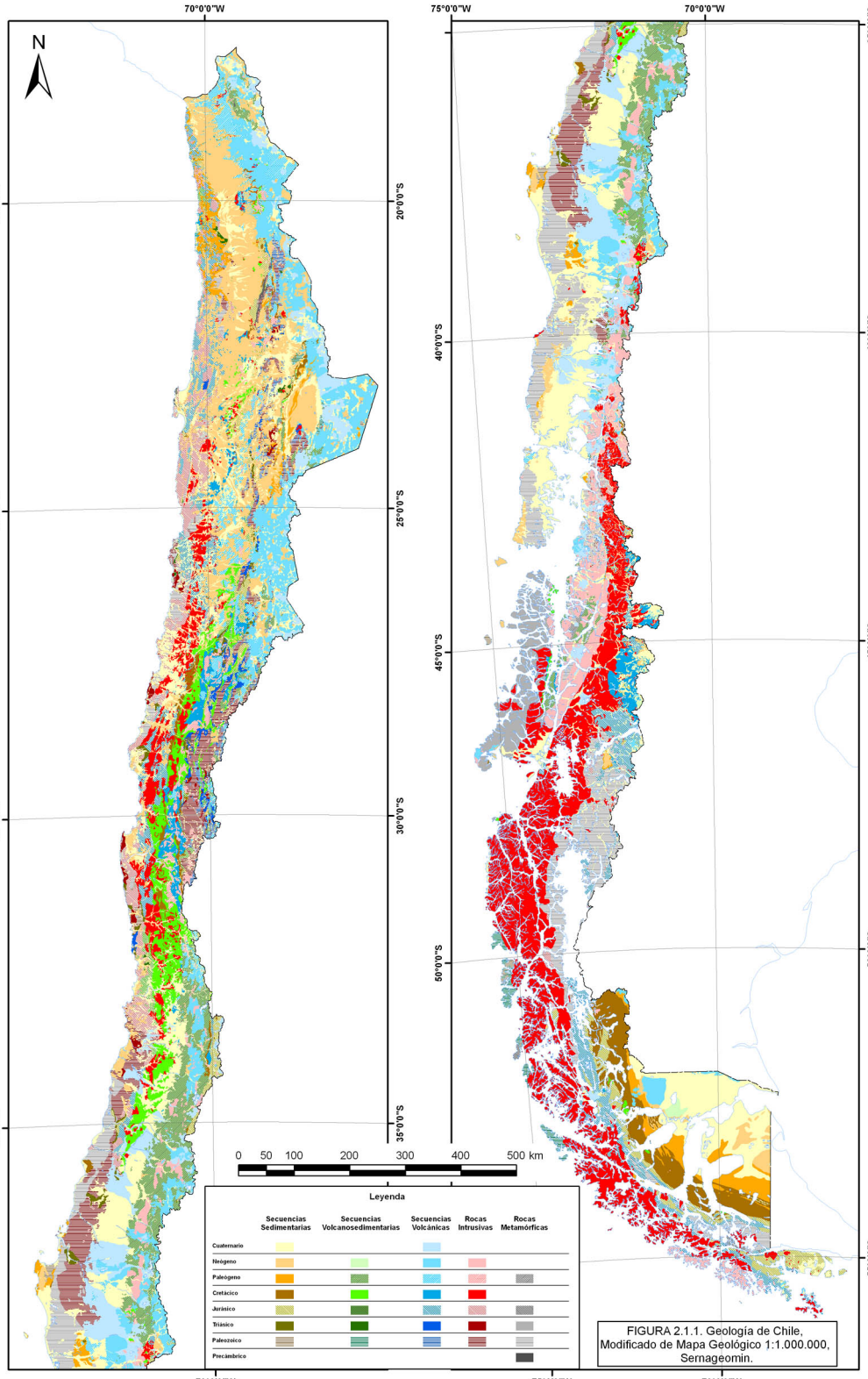


FIGURA 2.1.1. Geología de Chile, Modificado de Mapa Geológico 1:1.000.000, Sernageomin.

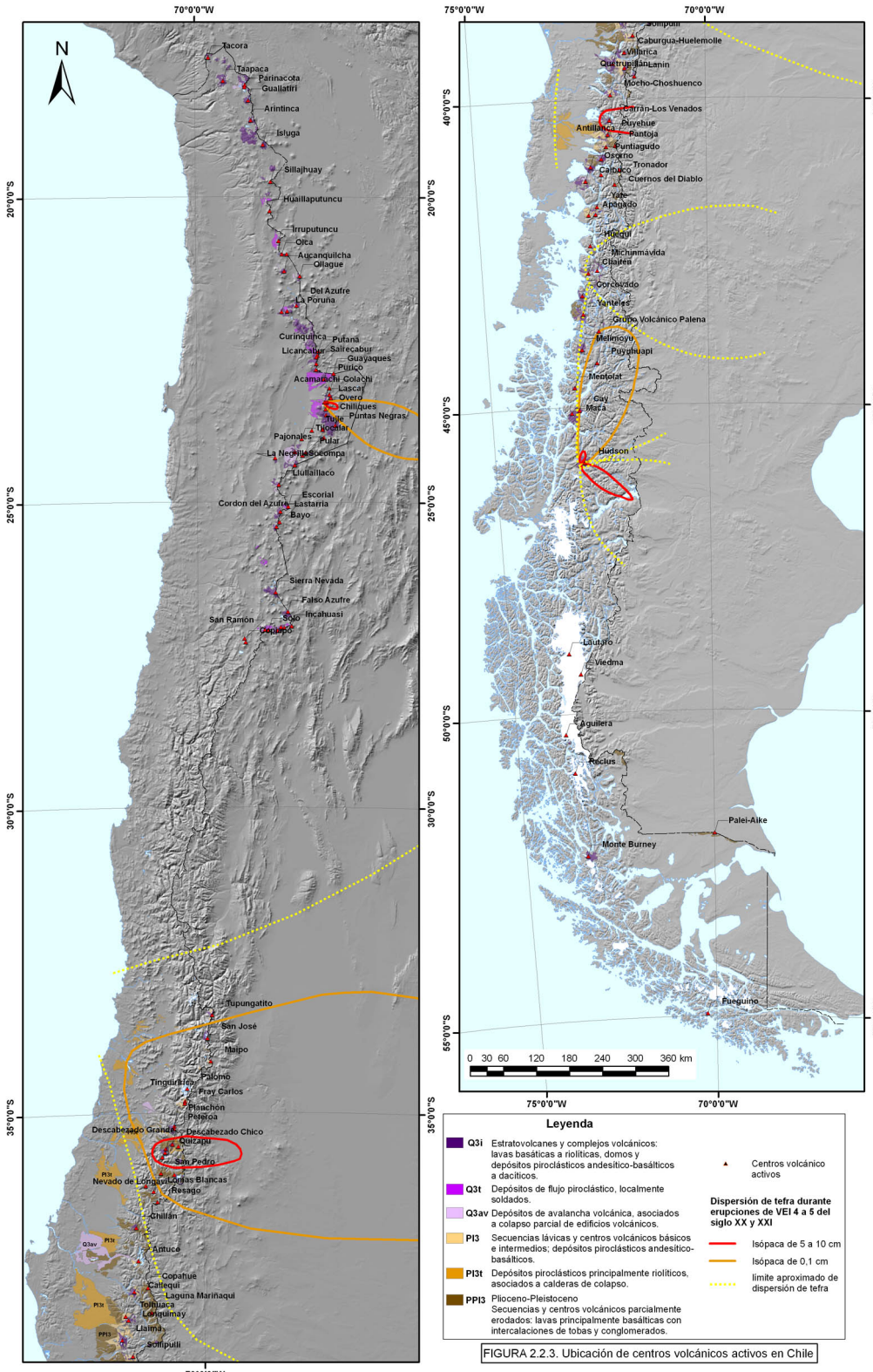
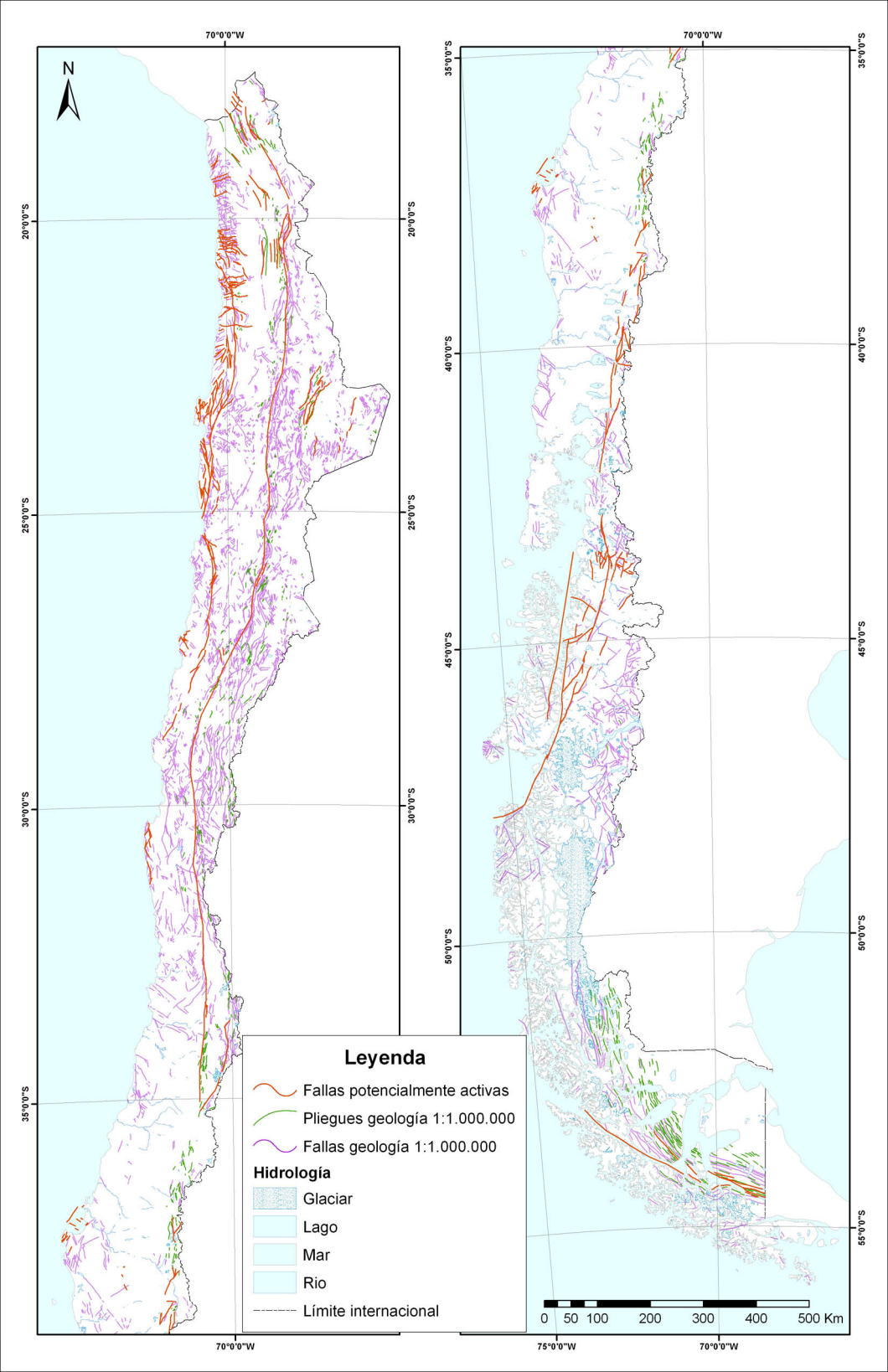


FIGURA 2.2.3. Ubicación de centros volcánicos activos en Chile


N
70°0'0"W
75°0'0"W
20°0'0"S
25°0'0"S
30°0'0"S
35°0'0"S
40°0'0"S
45°0'0"S
50°0'0"S
55°0'0"S
Leyenda
Fallas potencialmente activas
Pliegues geología 1:1.000.000
Fallas geología 1:1.000.000
Hidrología
Glaciar
Lago
Mar
Rio
Límite internacional
0 50 100 200 300 400 500 Km

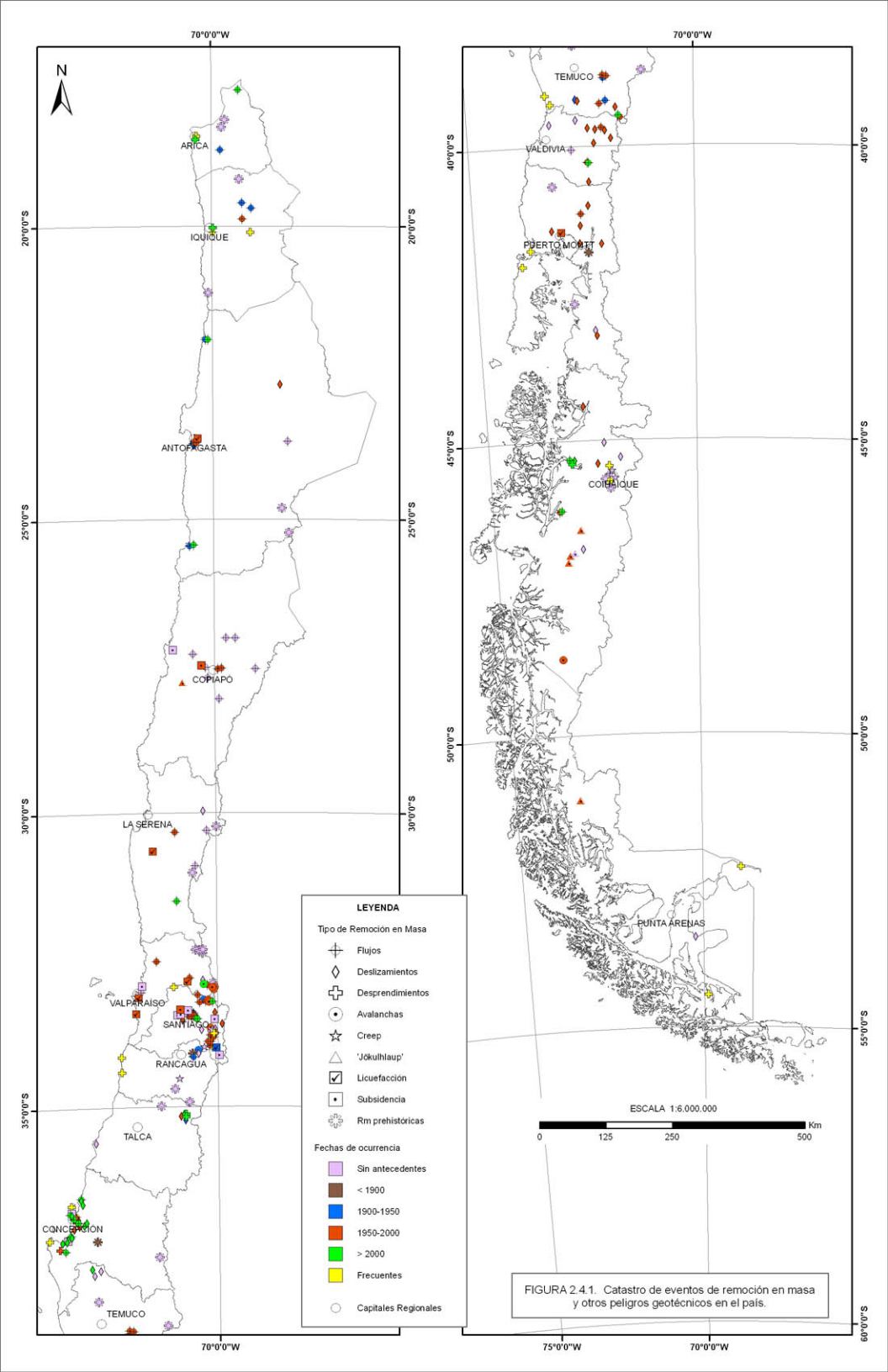


FIGURA 2.4.1. Catastro de eventos de remoción en masa y otros peligros geotécnicos en el país.

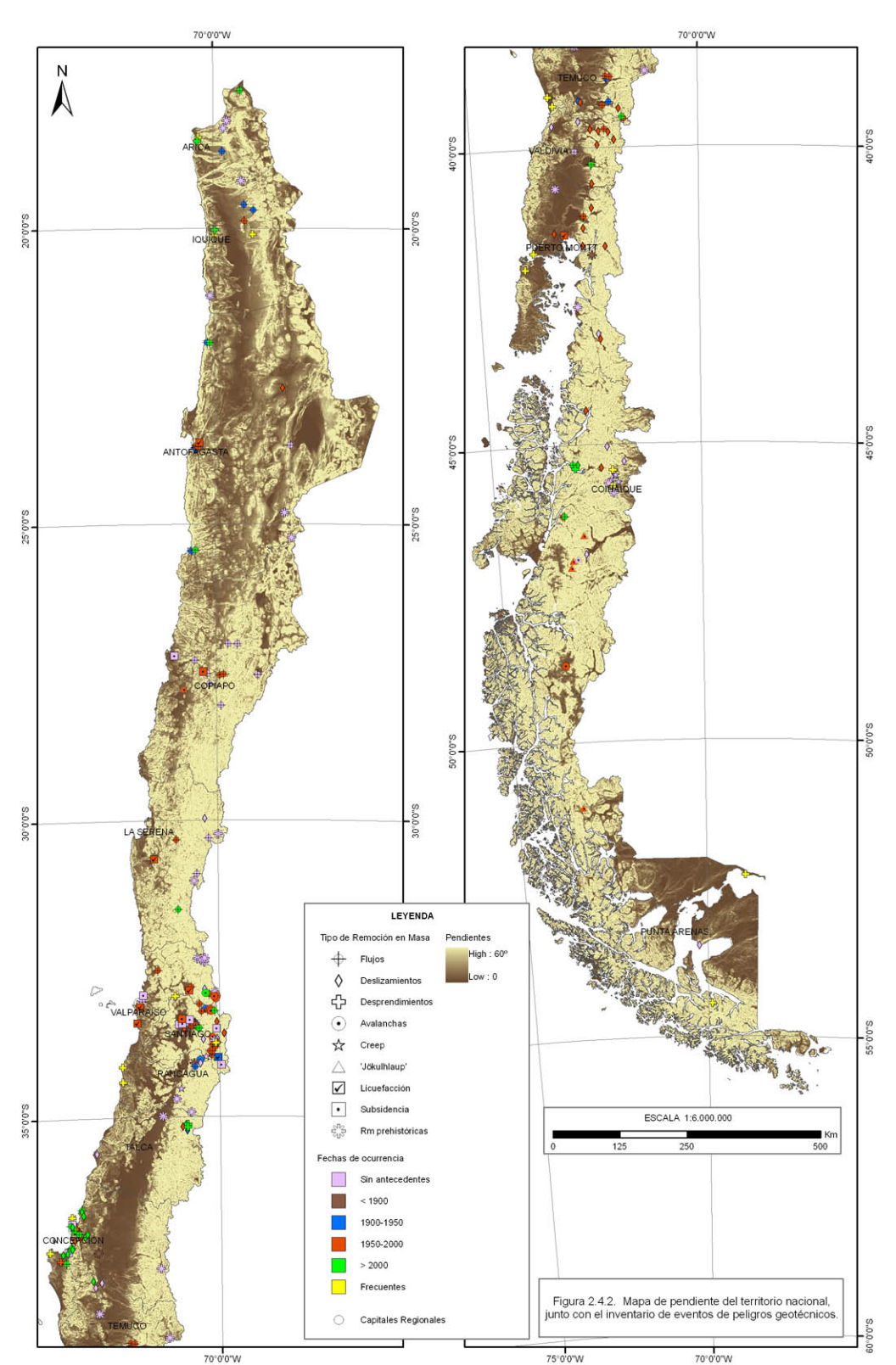


Figura 2.4.2. Mapa de pendiente del territorio nacional, junto con el inventario de eventos de peligros geotécnicos.

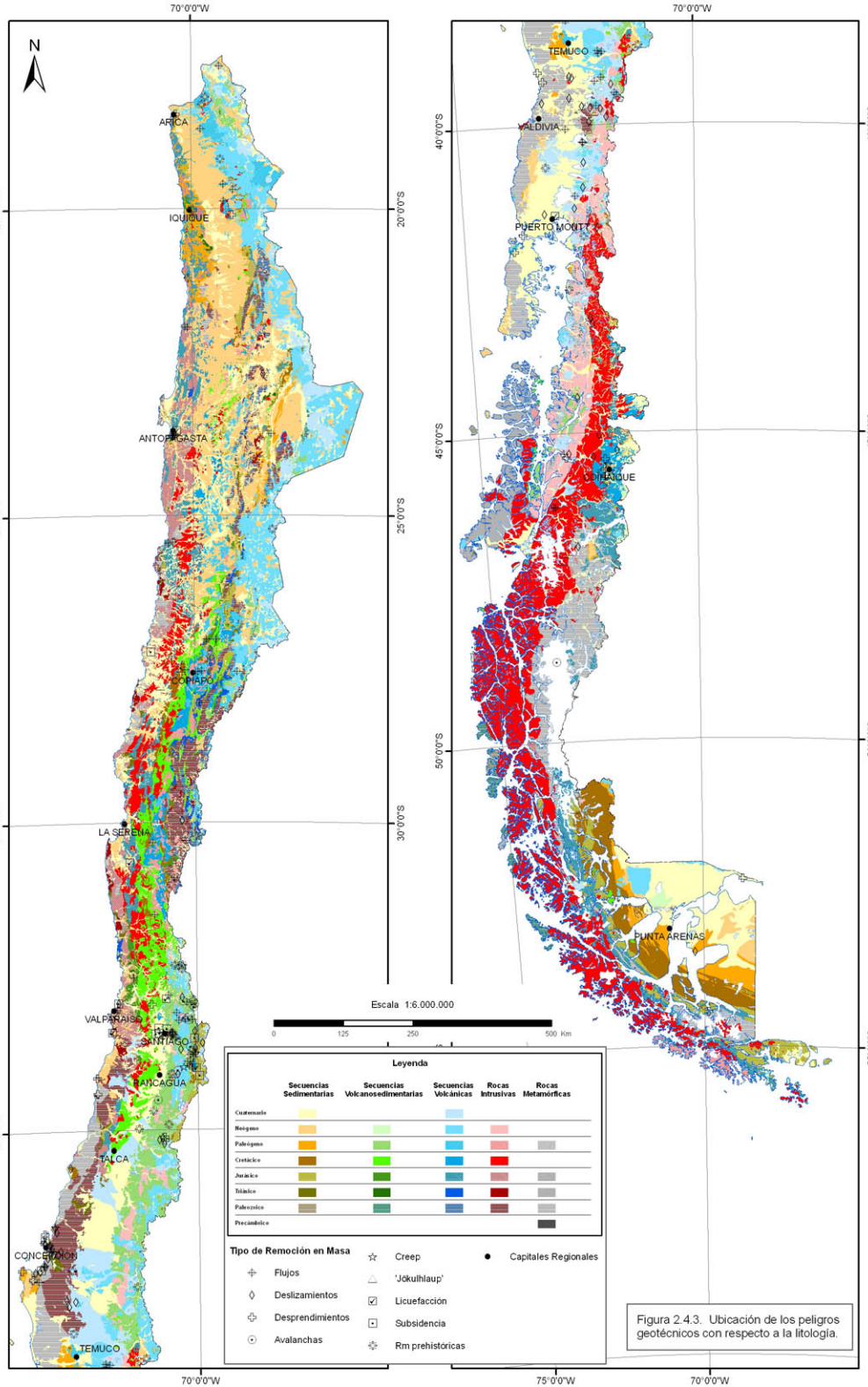


Figura 2.4.3. Ubicación de los peligros geotécnicos con respecto a la litología.

COST OF NUCLEAR ENERGY IN CHILE

PREPARED FOR:
MINISTERIO DE ENERGIA
CHILE

INFORME BORRADOR
APRIL 2010

MZConsulting

This document has been prepared by Milt Caplan, President,
Dr. Terry Thompson, Senior Advisor and Mark Pakan, Senior Associate,
MZConsulting Inc.

377 Ridelle Avenue, Suite 217, Toronto, Ontario, Canada M6B 1K2
Tel: 647.271.4442 info@mzconsultinginc.com
www.mzconsultinginc.com

Executive Summary

Recent renewed interest in a new generation of nuclear plants is being driven by a number of factors. These include: improved cost and performance of the existing global fleet of nuclear plants, concerns about security of supply and, finally, strong global attention to the need to reduce green house gases and attendant replacement of fossil fuels as a source of electricity generation.

In 2007 Chile experienced an energy crisis that put electricity supply at serious risk. Strong and focused management by government and cooperation with the private sector resulted in all supply obligations being met and disaster was averted. This led government to consider the nuclear option to complement the existing options of fossil fuels and more hydraulic generation. In January 2010, the Ministry of Energy issued a report summarizing the last two years of work on the nuclear option entitled "Nuclear Electricity in Chile - Possibilities, Opportunities and Challenges".

The Ministry report is comprehensive and looks at all issues related to the introduction of nuclear power in Chile. It emphasized the importance of cost when considering a decision to proceed with the nuclear option. Therefore the Ministry engaged MZConsulting to identify and assess the costs of nuclear in Chile.

International Experience

A number of studies, both by multinational and by national organizations continue to demonstrate that nuclear power is a cost effective way to produce secure, reliable and clean electricity. Although the economics are feasible in most jurisdictions, the lack of high quality data is of some concern. Given the increasing competitiveness in the nuclear industry, it is becoming even more difficult to access cost data.

Nuclear power plants have long project schedules and relatively high capital costs compared to other forms of generation. Therefore as the costs of nuclear plants are considered, it is the capital cost that requires the most attention. On the other hand, fossil plant costs are more sensitive to fuel prices as they represent a larger portion of the total cost of energy. Fossil fuel prices can be very volatile.

The values quoted for the cost of nuclear plants varies widely. The first step in understanding these costs is to ensure that they are presented on the same basis. Nuclear capital costs are often quoted on an "overnight" basis. This is the cost assuming the plant is built instantaneously and excludes escalation and financing costs. The cost at the in-service date including escalation and interest can be anywhere from 150% or more of the overnight cost.

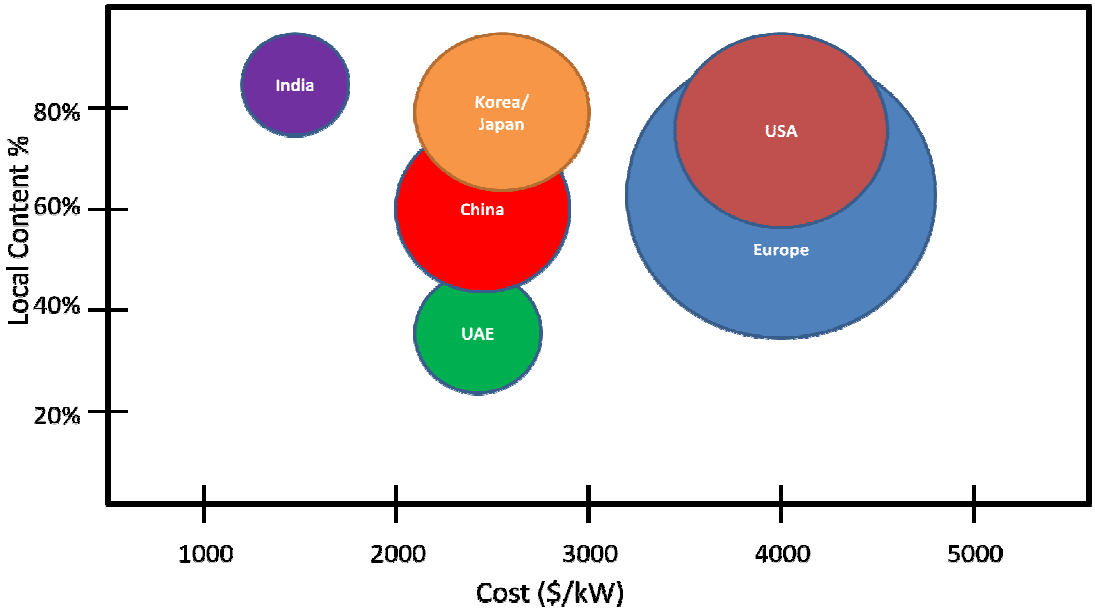
The most recent international study issued is "Projected Costs of Electricity 2010 Edition"published by the OECD NEA/ IEA. This report is the seventh in the series and was released in March 2010. It contains estimates for the costs of nuclear plants in 20 countries. In addition to this study, a wealth of other data on recently completed plants and estimates for new plants under consideration is assessed.

The capital costs of new nuclear plants have escalated significantly in recent years. This is a direct result of increases in commodity costs, increased labour costs, supply chain issues and of most importance; the reality that projects are more likely to proceed.

That being said, there is evidence from recent new builds in Japan and Korea, and Korea's winning bid in the UAE, that costs may have peaked in terms of same year dollars in these countries as more and more of the same model plants are built in series. The winning Korean bid for new nuclear plants in the UAE reflects the importance of competition in improving nuclear economics.

One important conclusion of all of this data is that costs vary significantly from region to region and even country to country. This is a function of many factors including local site specific characteristics, local supply chain, contractual structure, regulatory regime and government policies.

Costs of Nuclear Plants by Region



The cost of nuclear in Chile

To develop a cost for a nuclear plant in Chile, a reference plant was developed based on three types of plant currently available in the market. These are of different sizes and technologies. They are then combined to create a reference plant, nominally a a generic 1,000MW PWR design based in the Eastern United States. The cost of this plant is developed based on MZConsulting's extensive experience and cost databases. Adjustments are then made to adapt this cost to relevant local conditions in Chile. It is important to note that while the reference plant is taken as 1,000MW, most plants today are built in pairs. The cost of a plant in Chile assumes that Chile will commit to a pair of units.

In Chile, the cost is impacted by the technical requirements of the site (i.e. high seismic) and the cost of labour and materials in Chile. The cost will also be impacted by the electricity market. Meetings were held in Chile in January with government and private sector generating companies to collect the necessary data to assess the local conditions.

While Chile is a low cost country with labour costs substantially lower than in either the United States or Europe, it is expected that only a small portion of the cost will be

localized and most of the plant will be imported subject to international costing. Our assessment predicts a foreign/local split of 85/15. This does enable some cost reduction for these local costs. The cost of meeting the higher seismic requirements in Chile will then add to the cost of the reference plant.

On this basis, the cost of a nuclear plant in Chile has been estimated to be approximately US$ 4,018/kW.

The operating and maintenance costs will be significantly lower than for the reference plant as this is mostly composed of local labour. A value of $7.6/MWh is estimated. The fuel cost including an allowance for both spent fuel management and decommissioning is estimated at about $9/MWh. This sums to a nuclear production cost of $16.6/MWh.

Comparing to the assumptions already made in the recent Ministry of Energy report, the capital cost is higher and the production costs are lower.

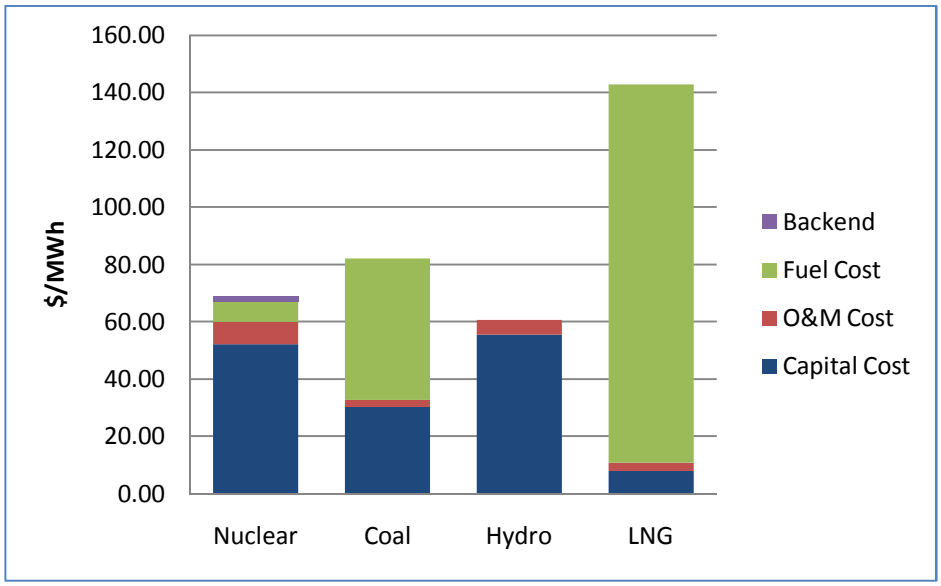
This indicative cost is useful for preparing a preliminary economic analysis to determine the viability of a nuclear unit in Chile. Global costs have peaked and are expected to decline in part due to the economies of standardization. This should reduce both the cost and risk of implementation in Chile by the time a first project is started so long as Chile selects a proven standard international design. This does not replace the need to perform a more detailed cost assessment as a project is developed.

Economic Assessment

The competiveness of a nuclear plant relative to the alternatives is considered using the standard Levelized Cost of Electricity (LCOE) methodology.

At a discount rate of 8%, the LCOE for nuclear is estimated at $68.7/MWh. The capital cost represents 75% of this value. The analysis concludes that nuclear plants are the least cost alternative relative to fossil generation for base load electricity.

LCOE for Electricity Generation Options in Chile



Results are sensitive to the capital cost of nuclear, the discount rate and the cost of fossil fuels. Sensitivity analysis shows that nuclear remains competitive in most scenarios. Therefore the cost competitiveness of nuclear power is robust in Chile.

A carbon market will further enhance the economic competitiveness of nuclear relative to fossil fuels.

Financial Analysis

Chile has a competitive electricity market with generation provided by private sector generators. A competitive cost alone is not sufficient to determine if a nuclear unit can be successfully implemented in such a market.

To assess this, a financial analysis is provided considering the structure and costs of implementing a nuclear plant into the electricity market in Chile. This analysis shows that nuclear is a viable option for implementation into the Chile electricity market and can provide a reasonable rate of return to a generating company.

Nuclear reactors are capital intensive, have long project schedules and operate in a complex and rigorous regulatory regime. Due to the nature of the risks for a nuclear plant, vendors and generators are unable to assume as much risk as for other generation options. Market models whereby some level of risk is passed on to the customer are necessary for a nuclear project to succeed. Project structuring must focus on success, not forcing risk onto others. The plant owner (generator) must ensure adequate oversight of the project as the ultimate risk of the project remains with him. Transferring more risk onto the contractors is not a replacement for adequate oversight that can identify and take action when project issues arise in a timely manner.

For a competitive private market system as in Chile, many projects are structured to achieve "off balance sheet" financing, in which the project structure itself would be the security for the lenders and investors. This structure requires complex contractual arrangements and is generally more expensive that on balance sheet financing. A PPA is not sufficient security in of itself to raise financing for a nuclear project. The project schedules are long and the case of non completion or delayed completion with increased costs needs to be addressed. This model is likely not feasible for a nuclear plant due to its more complex risk profile and longer project schedule.

The only viable alternative to raise debt, either in the long term debt (bond) market, or short term from commercial lenders requires that there be a creditworthy borrower. Normally this would mean for a project of this magnitude, a large utility type of company with a very strong balance sheet. However, even with a strong balance sheet, the structure of the project itself will affect the creditworthiness of the company. We can see in the US today that the industry has stated a need for a government guarantee program, hence removing much of the project risk from the lender and the completion risk from the equity investor, a key to project success.

Government support is likely required to assist with the management of construction period risks and to enable project financing. This is confirmed both in the study done in Chile by SYSTEP and by a recent international study on nuclear financing published by the OECD NEA.

Concluding Remarks

A cost for nuclear power in Chile has been estimated. Analysis shows that nuclear is a competitive option relative to the fossil alternatives. Building a nuclear plant into an open electricity market with current market designs is difficult as these markets do not easily support projects with such high capital costs and long project schedules. Government flexibility is required to adapt markets and provide support to enable a nuclear project to succeed. Nuclear power is a viabile option for electricity generation in Chile.

GLOSSARY OF TERMS

Term	Definition
ABWR	Advanced Boiling Water Reactor
ACR	Advanced CANDU Reactor
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd.
AP 1000	Advanced Passive 1000
APR	Advanced Power Reactor
BNFL	British Nuclear Fuel Ltd.
CANDU	Canadian Deuterium Uranium
CC	Combined Cycle
CCGT	Combined Cycle Gas Turbine
CCS	Carbon Capture and Storage/Sequestration
CMT	Core Make-up Tanks
CNE	Chile Nuclear Energy
COL	Combined Construction & Operating License
CPR	China Pressurized Reactor
CPS Energy	City Public Service Energy (San Antonio, TX)
CWIP	Construction Work in Progress
DNB	Depart Nucleate Boiling
DOE	Department of Energy
EdF	Electricite de France
EIA	Environmental Impact Assessment
ENEC	Emirates Nuclear Energy Corporation
EPC	Engineering Procurement Construction
EPR	Evolution Power Reactor
FOAK	First-of-a-Kind
GE	General Electric
GEH	General Electric Hitachi
Gen III+	Generation III + (new generation nuclear technology)
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEA	International Energy Agency
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
IRWST	In-containment Refueling Water Storage Tanks
KEPCO	Korea Electric Power Corporation
kW_e	kilo watt electrical
LCOE	Levelized Cost of Energy
LNG	Liquefied Natural Gas
LOCA	Loss of Coolant Accident
LUEC	Levelized Unit Energy Costs
LWR	Light Water Reactor
MEAG	Municipal Electric Authority of Georgia
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MW_e	Mega Watt electrical

MW_h	Mega Watt hour
NEA	Nuclear Energy Agency
NEI	Nuclear Engineering Institute
NINA	Nuclear Innovation North America
NPP	Nuclear Power Plant
NRC	Nuclear Regulatory Commission
NRG	NRG Energy (Princeton, NJ)
NSSS	Nuclear Steam Supply System
O&M, O&MA	Operation & Maintenance, Operation, Maintenance & Administration
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OPR	Optimized Power Reactor
PCS	Passive Containment Cooling System
PEP	Project Execution Plan
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor
PPA	Power Purchase Agreement
ppm	parts per million
PPP	Public Private Partnership
PRA	Probability Risk Assessment
PRHR	Passive Residual Heat Removal
PWR	Pressurized Water Reactor
RCS	Reactor Coolant System
RPV	Reactor Pressure Vessel
SCE&G	South Carolina Electricity & Gas
SCPC	Supercritical Pulverized Coal
TVA	Tennessee Valley Authority
TVO	Teollisuuden Voima Oy (Finland Utility)
UAE	United Arab Emirates
UK DT	United Kingdom Department of Transport
VVER	Vodo Vodyanoi Energeticheskyi Reactor (Russia PWR)
WBS	Work Breakdown Structure
WNA	World Nuclear Association

This page left intentionally blank

TABLE OF CONTENTS

EXECUTIVE SUMMARY ……...……. ….i
GLOSSARY OF TERMS vi
1. INTRODUCTION 1
2. INTERNATIONAL ANALYSIS OF COSTS OF NEW NUCLEAR BUILDS.....2
2.1 Introduction 2
2.2 Capital Cost Estimates and Definitions for Nuclear Plants 3
2.3 Understanding the Increase in Capital Costs.....5
2.4 Operating Cost Characteristics of Nuclear Plants.....8
2.5 Relative Economics of Nuclear Power 11
2.6 Impact of Location on Nuclear Costs.....14
2.7 Impact of New Suppliers on Costs 17
3. COST FOR NUCLEAR PLANT IN CHILE 19
3.1 Introduction 19
3.2 Basis of Estimate.....20
3.3 Selecting a Reference Plant.....21
3.4 Reference Plant Cost Estimate 23
3.5 Cost Estimate for Chile - Assumptions.....24
3.6 Chile Reference Plant Cost 29
3.7 O&M Costs 29
3.8 Price Trends for the Future.....30
4. ECONOMIC ANALYSIS.....32
4.1 Introduction 32
4.2 Methodology 32
4.3 Assumptions.....34
4.4 LCOE Results 36
4.5 Issues Affecting Economics - Sensitivity Analysis.....37
4.6 Outside Impact – Environment and Climate Change Policies 41
5. THE ELECTRICITY MARKET IN CHILE – FINANCIAL ANALYSIS 43
5.1 Introduction 43
5.2 Financial Analysis Assumptions.....44

5.3 Business Case Results 46

5.4 Potential Impact of Structure on Cost and Financing 47

APPENDIX A COST OF NUCLEAR PLANTS IN DIFFERENT COUNTRIES 50

A.1 United States 50

A.2 South Carolina Electric & Gas/Santee-Cooper V.C. Summer 2&3 52

A.3 Southern Vogtle 3&4 52

A.4 NRG South Texas 3&4 53

A.5 Asia 53

A.6 Canada 53

A.7 Europe 54

A.8 UAE 56

APPENDIX B REFERENCE PLANT – BASIC CONCEPT AND MAJOR COMPONENTS 58

B.1 Major Equipment Description 58

B.2 Steam Generators 58

B.3 Reactor Coolant Pumps 59

B.4 Pressurizer 59

B.5 Containment Vessel 59

B.6 Passive Safety Systems 59

List of Figures

Figure 2.3-1 Commodity Price Increases to 2008 6
Figure 2.3-2 EDF Assessment of Increases in Cost from 2005 to 2008 8
Figure 2.4-1 Economics of Nuclear Power Compared to Alternatives 8
Figure 2.4-2 Spot Price of Uranium 9
Figure 2.4-3 Impact of a 50% Increase in Fuel Cost 10
Figure 2.4-4 US Utility Production Costs 11
Figure 2.5-1 Regional Ranges of LCOE at 5% Discount Rate 12
Figure 2.5-2 Regional Ranges of LCOE at 10% Discount Rate 13
Figure 2.6-1 Variation in Nuclear Cost by Location 16
Figure 3.2-1 Work Breakdown Structure 21
Figure 4.3-1 Fossil Fuel Price Projections 36
Figure 4.4-1 Levelized Cost of Electricity 37
Figure 4.5-1 Sensitivity to investment cost for various technologies 38
Figure 4.5-2 Sensitivity to Nuclear Capital Cost 38
Figure 4.5-3 LCOE as a function of discount rate 39

Figure 4.5-4 LCOE at varying discount factors 40
Figure 4.5-5 Share of Fuel Cost over total LCOE.....40
Figure 4.5-6 LCOE sensitivity to fossil fuel prices 41
Figure 4.6-1 LCOE with Carbon Price 42
Figure 5.1-1 System Marginal Cost in SIC (US$/MWh).....44
Figure 5.2-1 Electricity Price Forecast by the Ministry of Energy.....46
Figure 5.3-2 Marginal cost forecast to 2028 47

List of Tables

Table 2.1-1 Share of Costs for Different Technologies.....3
Table 2.2-1 Recently Published Overnight Estimates for New Nuclear Plants.....4
Table 2.2-2 Alternate Basis for Cost Estimates.....5
Table 2.6-1 Overnight Costs of Nuclear Generated Electricity (OECD 2010) 14
Table 2.6-2 Summary of Capital Costs by Region of New-Build Nuclear 15
Table 3.4-1 Reference Plant Cost Basis PWR 1,000MW_e.....23
Table 3.4-2 Reference Plant – Selected Items > US M$50.....24
Table 3.5-1 Local Cost of Labour 26
Table 3.5-2 Chile Local Scope per Category (Direct & Weighted) 27
Table 3.6-1 Chile Reference Plant Cost (PWR 1,000MW_e) 29
Table 4.3-1 LCOE Input Summary – Base Case Scenario 34
Table 4.3-2 Assumption from previous analysis from the CNE 35
Table 5.2-1 Financial Assumptions for Business Case 45

This page left intentionally blank

1. INTRODUCTION

Recent renewed interest in a new generation of nuclear plants is being driven by a number of factors. These include: improved cost and performance of the existing global fleet of nuclear plants, concerns about security of supply and, finally, strong global attention to the need to reduce green house gases and attendant replacement of fossil fuels as a source of electricity generation.

In 2007 Chile experienced an energy crisis that put electricity supply at serious risk. Strong and focused management by government and cooperation with the private sector resulted in all supply obligations being met and disaster was averted. Now a number of new facilities are being constructed and the nature of the electricity system will be changing going forward, improving the reliability of the overall system.

However, looking forward also shows that the system will be relying on an increased amount of fossil fuels in the future exposing it to risks of volatile fossil fuel prices and the impact of higher GHG emissions. This led government to consider the nuclear option. In January, the Ministry of Energy issued a report summarizing the last two years of work on the nuclear option entitled "Nuclear Electricity in Chile - Possibilities, Opportunities and Challenges".

The Ministry report is comprehensive and looks at all issues related to the introduction of nuclear power in Chile. It shows the importance of cost in taking a decision on proceeding with the nuclear option. Therefore the Ministry engaged MZConsulting to identify and assess the costs of nuclear in Chile.

The focus of this study is to develop a cost for nuclear in Chile with a strong basis using international data and experience and then adjusting for local conditions. It is anticipated that this report will serve as a reference for future more detailed feasibility studies.

Section 2 of this report considers international data and trends for the cost of nuclear power.

Section 3 calculates a both a capital and O&M cost for a nominal nuclear plant in Chile.

Section 4 provides a competitive economic assessment nuclear relative to the fossil and hydro alternatives.

Section 5 concludes by considering how these costs fit into the current electricity market in Chile.

2. INTERNATIONAL ANALYSIS OF COSTS OF NEW NUCLEAR BUILDS

Key Findings

- Recent studies show nuclear plants continue to be an economic source of electricity generation in most developing and developed countries. However, there is also a lack of high quality reliable data for these analyses.
- Nuclear power plants have long project schedules and relatively high capital costs compared to other forms of generation. Therefore as the costs of nuclear plants are considered, it is the capital cost that requires the most attention.
- Fossil plant costs are more sensitive to fuel prices as they represent a larger portion of the total cost of energy. Fossil fuel prices can be very volatile.
- Nuclear capital costs are often quoted on an "overnight" basis. The cost at the in-service date including escalation and interest can be anywhere from 150% or more of the overnight cost.
- Capital costs of new nuclear plants have escalated in recent years. This is a direct result of increases in commodity costs, increased labour costs, supply chain issues and of most importance, first of a kind experience and more realistic estimates for projects looking more likely to proceed.
- That being said, there is evidence from recent new builds in Japan and Korea, and Korea's winning bid in the UAE, that costs may have peaked in terms of same year dollars in these countries as more and more of the same model plant are built in series.
- The winning Korean bid for new nuclear plants in the UAE reflects the importance of competition in improving economics.
- The cost of fuel is low in a nuclear plant, about 10 to 15% of the total cost. Uranium only represents about a third of the cost of fuel. This means nuclear electricity costs are relatively insensitive to the cost of uranium and hence tend to be very stable over the plant life.
- The O&M cost of a nuclear plant is significantly larger than for fossil plants. The economies of scale for O&M mean that larger plants and multiple units on a site are more economic.
- Costs of nuclear plants and other generating options vary significantly from country to country making the economic outcome very location specific.
- Nuclear costs are influenced by site specific characteristics, local supply chain, contractual structure, regulatory regime and government policies.

2.1 Introduction

Understanding the cost and economics of a nuclear plant is not a trivial task. There have been numerous studies over the last few years comparing the costs of nuclear plants to the alternatives: coal, gas and now in many cases, renewables. While these studies generally show that nuclear power

continues to be an economic option in most jurisdictions, there is also a lack of good reliable data to be used for this analysis. As shown in more detail below, capital costs of new nuclear plants have escalated in the past decade but recently there is evidence that capital costs may have peaked in constant dollar terms.

Compared to its most likely alternatives, nuclear plants have different economic characteristics (Table 2.1-1). Nuclear plants are capital intensive and have long project schedules, while gas plants are fuel cost intensive with short project schedules. Coal plants are somewhere in between these two extremes.

Table 2.1-1 Share of Costs for Different Technologies

Share	Nuclear	Gas CCGT	Coal
Investment	50-60%	15-20%	40-50%
O&MA	20-35%	5-10%	15-25%
Fuel	15-20%	70-80%	35-40%

Therefore, as the costs of nuclear power are considered, it is the capital cost that requires the most attention. This section of the report will consider recent reports from different jurisdictions, as well as the latest commentary in nuclear industry journals and newsletters and examine the key elements of nuclear power and how they impact its cost and economic competitiveness.

2.2 Capital Cost Estimates and Definitions for Nuclear Plants

Over the past few years there have been many studies and assessments of nuclear economics with an emphasis on the capital cost of the next generation plants. In these assessments, project costs of anywhere from $3,000 to $5,000/kW (overnight[1]) were assumed. These numbers are higher than the studies performed earlier in the decade when costs of $2,000/kW or less were common. The recent increases have been attributed to a number of factors from increasing prices of raw materials to higher labour costs. Table 2.2-1 below shows some of these assumptions. Given the capital intensive nature of the project, capital cost is the key assumption in the business case of a new nuclear unit.

[1] Overnight capital costs are the actual costs to construct a nuclear plant assuming that the construction period is instantaneous, hence "overnight". The total capital cost at the in-service date of a plant includes the overnight cost, the escalation and the interest during construction.

Table 2.2-1 Recently Published Overnight Estimates for New Nuclear Plants

The New Economics of Nuclear Power (WNA 2005 report)	US$1,500 to $2,0000/kW
CRS Report for Congress	US$2,100/kW (escalated to 2008)
ISO-NE Scenario Analysis 2007	US$3,000 to $5,000/kW
Moody's 2007 Report on nuclear	US$5,000 to $6,000/kW
UK DTI 2007	£1,250/kW (~US $2,500/kW in 2007)
NEI 2008 Analysis	$3,500 to $4,500/kW
EDF 2008 Analysis	€2,500/kW (~US$3,200/kW)
MIT Nuclear Report Update (2009)	US $4,000 /kW
OECD NEA/IEA Report 2010 Edition	Median US$4,100/kW

Note: References will be provided in the final report.

Overnight capital costs are only one component of the completed capital costs. The relatively long project schedules for nuclear plants mean that the costs escalate with inflation as the project proceeds and the funds used to finance the project accumulate interest until completion. These costs are substantial in that depending upon the magnitude of inflation and interest rates, the completed cost of a project can be anywhere from 150% or more of the original overnight cost. In the currently reported projects in the US, projects starting at about $4,000/kW are estimating completion at between $6,000 and $6,500/kW. Therefore, the general economic conditions existing at the time a nuclear plant is built are very important. Plants built during times of high escalation and interest rates are more costly than in times of lower inflation and interest rates.

Published estimates for the cost of new nuclear plants can vary greatly depending on the basis of the estimate. A recent report from MIT[2] uses an example of a hypothetical nuclear power plant to describe standard, but very different, methods for quoting the same costs. This is the cost quoted in Table 2.2-1.

It assumes construction to occur over a 5 year period from 2009-2013, with the plant being constructed under an EPC contract for a 1,000MW plant at a vendor overnight cost in $2007 of $3,333/kW.

When regulated utilities submit their filing seeking approval for the plant, the EPC costs are adjusted for inflation, additional owners' costs (typically about 20%), and transmission upgrade costs. These three additional costs bring the total cost of the hypothetical plant to $4,706/kW. The utility will also be allowed to recover financing charges on capital costs, assumed to be 11.5% in the hypothetical

[2] Update on the Cost of Nuclear Power, Yangbo Du and John E. Parsons, May 2009, MIT-NFC-TR-108

case, and with the capital recovery costs, this brings the Total Cost to $5,837/kW, or 75% more than the vendor's EPC overnight cost of $3,333/kW.

The overnight cost that is often quoted totals the EPC costs and the owners' costs for each year and adjusts for inflation, taking the total back to $2007. In the hypothetical case this is $4,000/kW. This does not include transmission costs (other than local busbar costs) or capital recovery costs.

Table 2.2-2 Alternate Basis for Cost Estimates

METHOD	**$/kW**
EPC Vendor Overnight Cost $2007	3,333
Total Cost (including inflation, owners' cost and transmission upgrades; but excluding financing cost)	4,706
Total Cost (as above, including financing cost)	5,837
Overnight Cost (EPC and owners' cost, excluding transmission and financing) $2007	4,000

The Overnight Cost is the most standard basis for reporting costs. This is the cost quoted in Table 2.2-2 and used in the MIT report. In this report, care will be taken when reporting on capital costs details to be as clear as possible which method is being used and, if unclear, what is thought to be included.

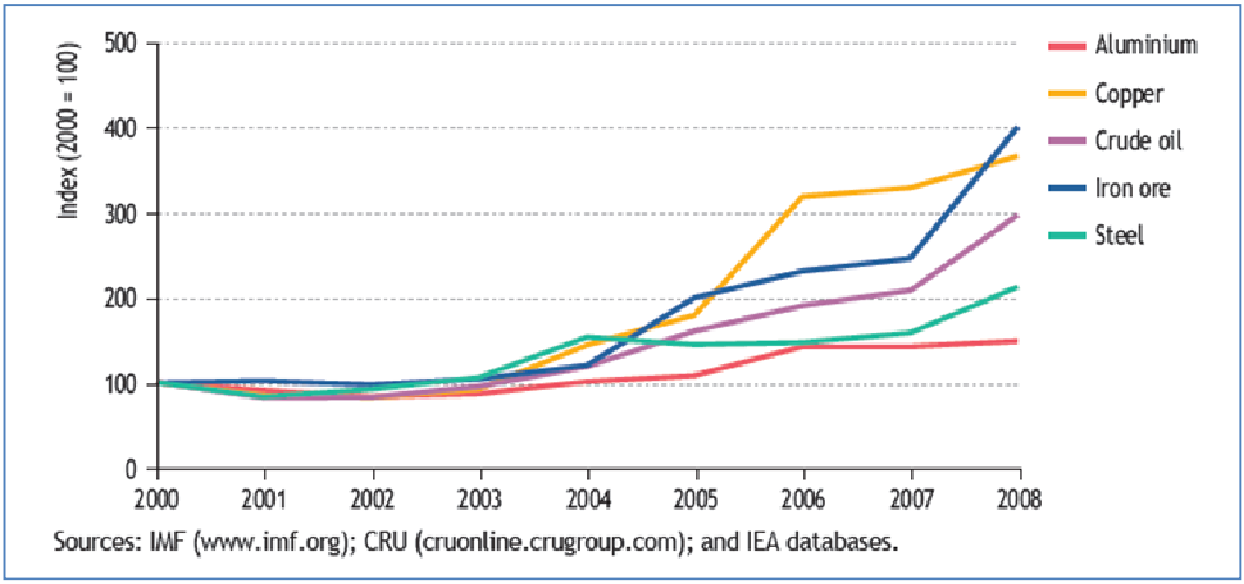
2.3 Understanding the Increase in Capital Costs

There are a number of reasons for the increase in capital costs associated with new build nuclear in recent years. These range from changes due to the impact of rising commodity prices, rising labour costs, supply chain issues and finally, due to the vendors having to actually price real projects rather than talk in generalities as they have been doing for many years.

Changes in Commodity Costs

Nuclear plants are very large projects with a relatively high capital cost. This is in part because of the need for large volumes of equipment and materials. Over the 5 year period from 2003 to 2008, basic commodity prices increased dramatically. As shown in Figure 2.3-1 below, basic commodities such as steel more than doubled during this period with others such as iron ore and copper increasing by a factor of 4. Oil increased dramatically as well which increased the energy costs associated with manufacturing equipment and transporting it to sites.

Figure 2.3-1 Commodity Price Increases to 2008



In addition to basic commodities, the cost of labour in the nuclear industry continues to rise. Work force issues in the industry are paramount with all jurisdictions putting in place plans to ensure that there is enough labour, both professional and trade labour to meet the needs of the industry going forward. Labour tends to be a local issue as while somewhat mobile; engineering labour can be available internationally, but trade labour tends to be local and national at best.

And finally, the industry has seen a deterioration of the supply chain due to the many years of no new building. For LWRs, the issue has been very focused on the limiting factor which is the ability to produce very large forgings. But in all cases, manufacturers are finding that their shop floors are full and as such, prices of equipment are rising.

Real Project Experience

There has been little new build nuclear in the western world over the past two decades. This lack of real life data has had an impact on the projections of the industry. Under tremendous pressure to reduce both costs and risks, the industry has been working diligently to target lower capital costs and schedules for the next generation of nuclear plants. However, now that there has been a start to new construction, the realities of the market have come to pass.

The first projects in North America have been restarts of older reactors and refurbishments. In the United States, TVA has restarted and uprated its Brown's Ferry 1 plant that has been shut down since the 1980s after suffering a fire. The final cost to bring this unit back into service in 2007 was about US$1,600/kW. Following this project, TVA has taken a decision to complete the never completed Watts Bar 2 unit, which was stopped in the mid 1990s more than 50% complete at a total cost of about US$2,100/kW.

In Canada, the existing CANDU fleet has shown that it requires a major refurbishment to both replace its nuclear fuel channels and extend the life of the reactors. The first project was to restart Units 1&2 at Bruce. These units were shut down more than a decade ago and have been in a state of

disrepair. The first estimates from Bruce Power for this project was for about $2.75 billion and a 4 years project schedule. Currently the project is running late and the price tag has increased to between $3.1 and $3.4 billion[3] or about $2,200/kW. The next Canadian refurbishment is the Point Lepreau unit in New Brunswick. This cost is estimated at about $1.4 billion or also about $2,200/kW. This project is also now experiencing considerable delays and overruns.

Clearly this experience shows that if it takes over $2,000/kW to restart or refurbish an existing plant, it is likely that new plants will cost considerably more. That being said, it is also accepted that in some cases, the refurbishment of these units is very complex. A refurbishment takes place in a nuclear environment with all the necessary radiation protection issues while a new build is basically a construction project that does not become "nuclear" until fuel is loaded.

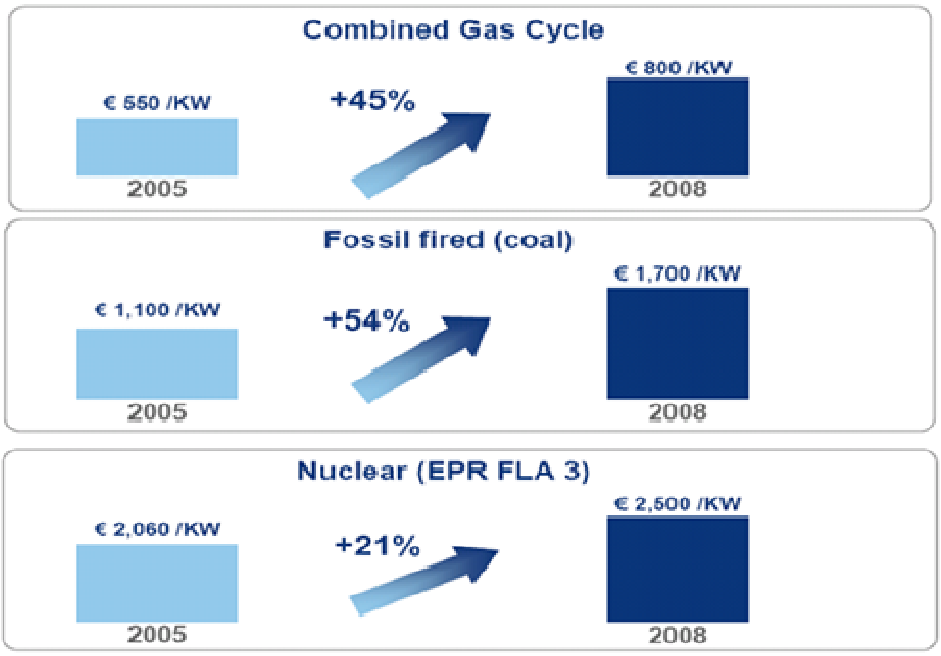
As for experience with new build, all eyes are on the Olkiluoto project in Finland. This project, the first-of-a-kind EPR for Areva, has had extensive overruns and delays. With an original estimate of about €3 billion and a schedule of 4 years; the project is now estimated to be experiencing an overrun of about €1.7 billion and a delay of about 3 years.

EDF in France has completed an assessment of new build nuclear. EDF has noted that since their last major update, the cost of all technologies has increased. Figure 2.3-2 shows their assessment that nuclear costs has actually increased less than the costs of both coal and gas plants.

This result has not been replicated in the USA. MIT, in its updated study issued in 2009 has indicated that while costs of all generating options have increased since it original report in 2003; the cost of nuclear has risen faster than the cost of fossil generation.[4]

[3] http://www.transcanada.com/news/2008_news/20080417.html
[4] "Update of the MIT 2003 Future of Nuclear Power" - 2009

Figure 2.3-2 EDF Assessment of Increases in Cost from 2005 to 2008

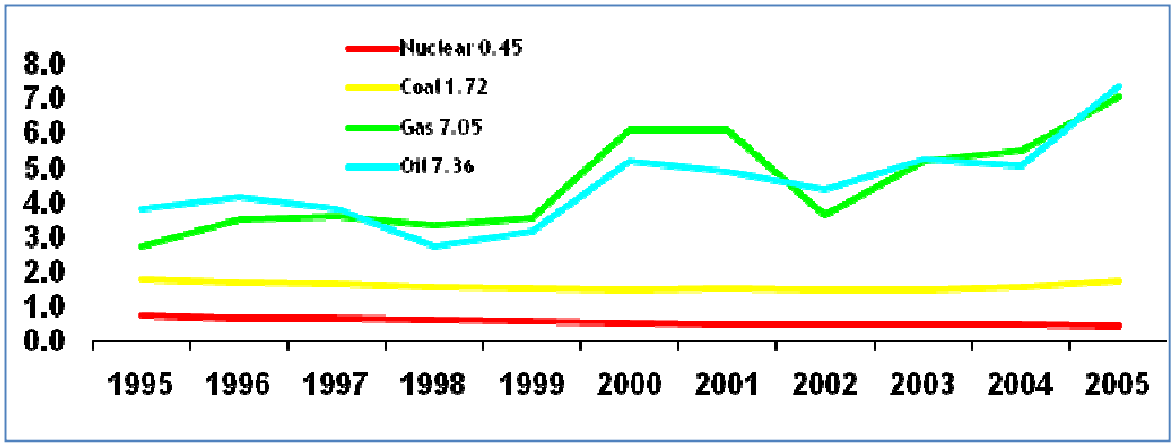


2.4 Operating Cost Characteristics of Nuclear Plants

As shown in Table 2.1-1 above, nuclear plants are very capital intensive. They also have relatively long project schedules that impact the capital cost. Once the plant is complete about 60% of the cost of electricity is fixed for the remainder of the life of the plant.

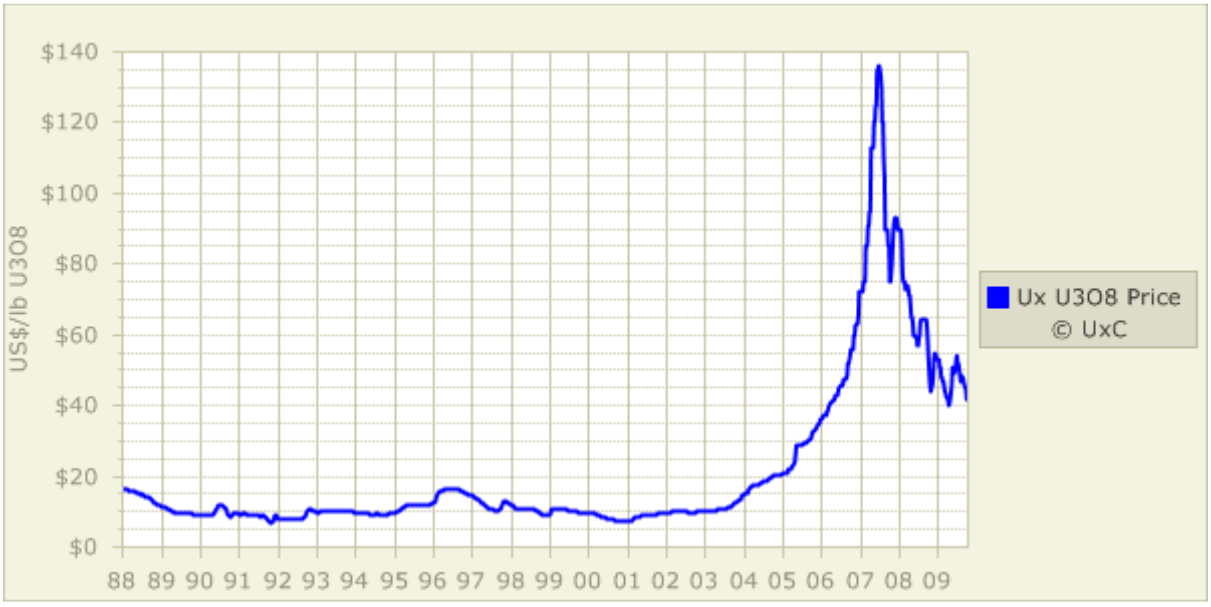
On the other hand, the fuel costs of nuclear plants are extremely low representing about 15% of the cost of electricity. Therefore the sensitivity to fuel cost is extremely low. Figure 2.4-1 below shows the variation in fuel cost in the United States. It can be seen that the nuclear fuel cost is by far the lowest cost of any fuel.

Figure 2.4-1 Economics of Nuclear Power Compared to Alternatives



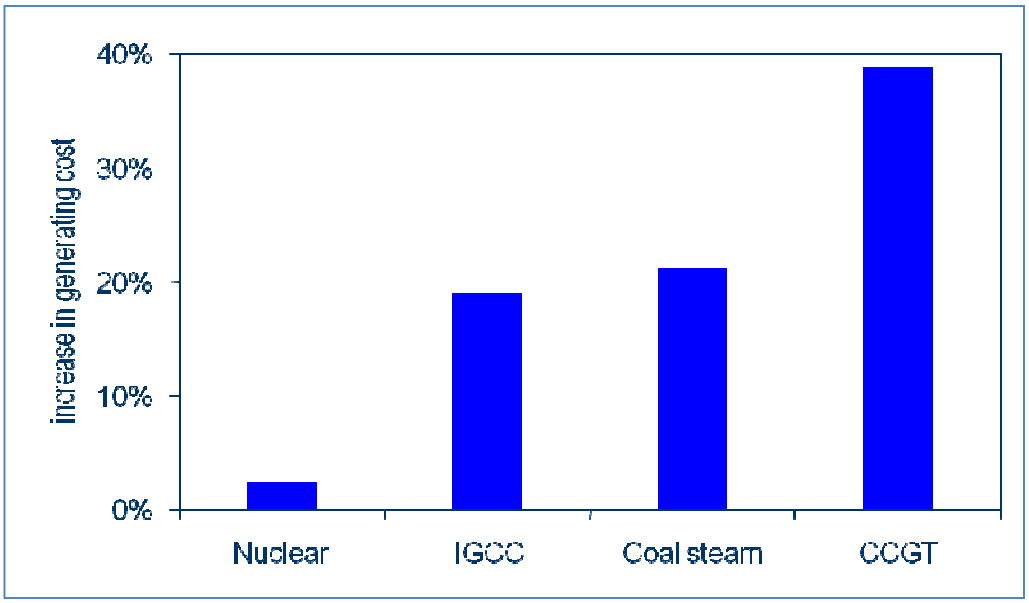
As shown in Table 2.1-1, the cost of fuel is relatively small in a nuclear plant. And of this 15% or so that is the cost of fuel, only about a third of that is related to the cost of uranium. The cost of uranium has been low for many years and then in recent years has become quite volatile consistent with other commodities. Figure 2.4-2 shows that the price of uranium increased from $20/lb in 2005 to over $130/lb in 2007. The price has now fallen back to just over $40/lb.

Figure 2.4-2 Spot Price of Uranium



This volatility does have an impact on the profitability of nuclear utilities especially those who operate in a deregulated market. However, the low impact to the cost of electricity is a clear benefit to the customers of nuclear power plants. As can be seen in Figure 2.4-3 below, even a 50% increase in fuel costs for uranium has a small impact on the generation cost. Alternatively, a 50% increase in the cost of gas has a 40% impact on the cost of gas fired electricity. This demonstrates that nuclear electricity costs can be extremely stable and, as such, make an important part of generation mix.

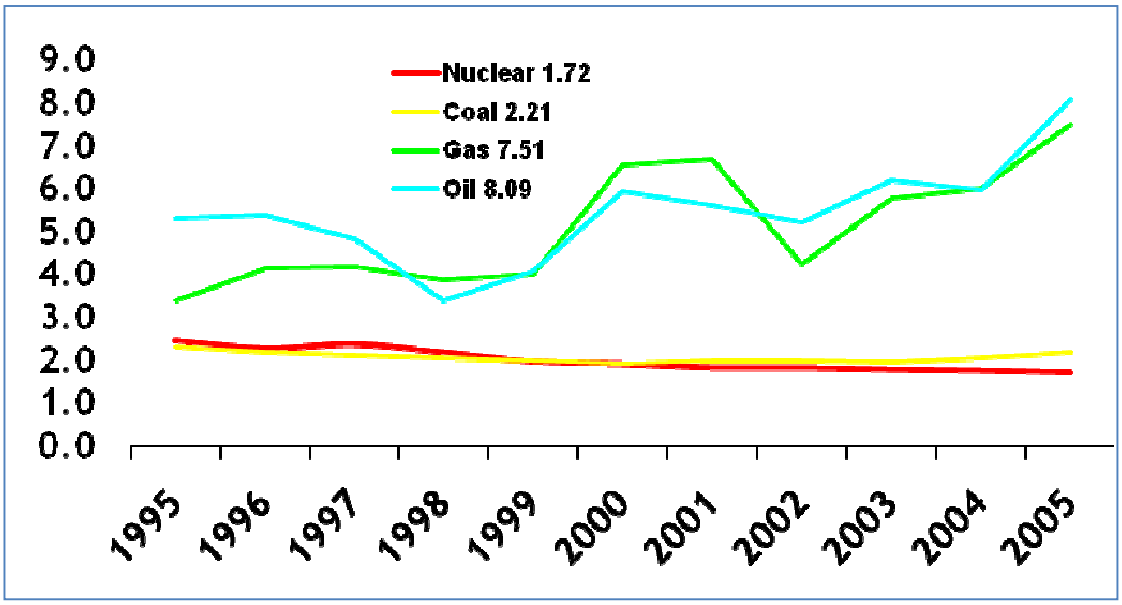
Figure 2.4-3 Impact of a 50% Increase in Fuel Cost



The third cost element is the Operations and Maintenance (O&M) costs. Although not much talked about, the O&M costs for nuclear plants tend to be considerably higher than for other generation technologies with most of the costs being fixed. In fact, while there are some variable costs of operations, they tend to be inversely related to production as costs go up during outages when there is a need to bring additional resources to the site to do maintenance off power. In fact, the O&M cost for nuclear plants tend to be almost an order of magnitude higher than for the alternatives. For example, it is common to operate a coal station with less than 100 staff while nuclear stations typically require closer to seven times that. This offsets some of the advantages of the low fuel cost.

Figure 2.4-4 shows that when considering the total productions costs (O&M plus Fuel), nuclear and coal are almost the same due to the relatively higher O&M cost for nuclear and the higher fuel cost for coal.

Figure 2.4-4 US Utility Production Costs



This means that to operate a nuclear plant economically requires that the plant be operated as base load. Its relatively high fixed costs and low fuel costs means that the economics are directly related to the overall operating performance of the plant.

Another important point is that the relatively high O&M costs are an important consideration when considering the size of the plant. While there are economies of scale in the capital cost of a nuclear plant, the economies of scale on operating costs are considerably greater thus making larger unit sizes and more economic than smaller units and twin units at a site more economic than single units.

2.5 Relative Economics of Nuclear Power

The relative costs of generating electricity from coal, gas and nuclear plants vary considerably depending on location. Coal is, and will probably remain, economically attractive in countries such as China, the USA and Australia with abundant and accessible domestic coal resources as long as carbon emissions are cost-free. Gas is also competitive for base-load power in many places, particularly using combined-cycle plants, though rising gas prices have removed much of the advantage.

There have been numerous studies on the economics over the past decade. Most of these studies are out of date with respect to the current capital costs of nuclear and other technologies. A key report has been published by the World Nuclear Association (WNA) in 2005 (The New Economics of Nuclear Power)[5]. This report was a comprehensive review of many of the important studies available at that time. It concluded that in most jurisdictions, nuclear continues to be an attractive energy source. There are now a number of more up to date studies available. The most recent and arguably the most comprehensive global study is the new edition of the OECD NEA/IEA report "Projected Costs of Electricity 2010 Edition" issued at the end of March 2010. This is the seventh report in this series dating back to 1983.

[5] WNA Report "The New Economics of Nuclear Power", 2005

This report collects data from 21 countries and 190 power plants of different types including nuclear, coal, gas and wind. It calculates the Levelized Cost of Electricity (LCOE) at two discount rates, 5% and 10%. Both sets of results are shown in the following two figures.

Figure 2.5-1 Regional Ranges of LCOE at 5% Discount Rate

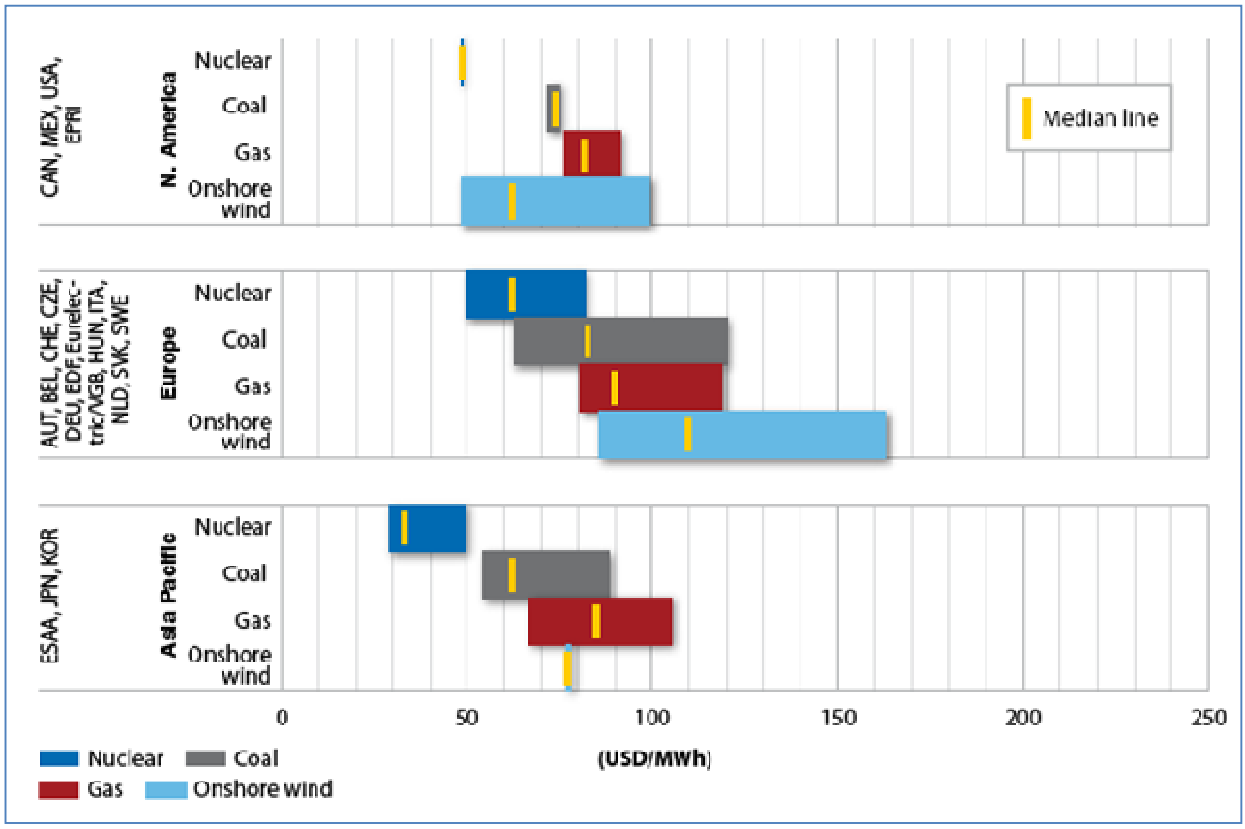
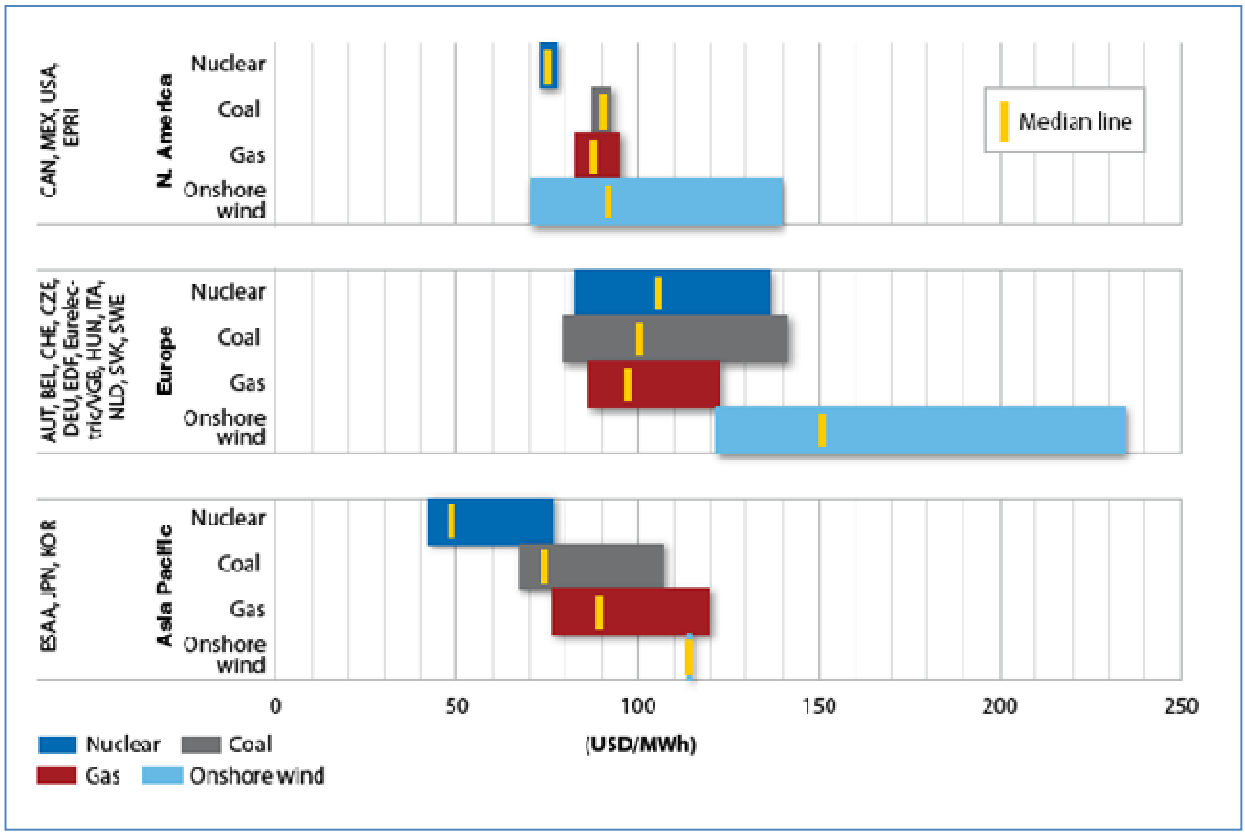


Figure 2.5-2 Regional Ranges of LCOE at 10% Discount Rate



At a 5% discount rate, nuclear is the most competitive option in all regions. However at 10%, it relative advantage is decreased and in Europe, coal and gas become more economic. In summary this study shows that there is no clear winner when it comes to generating technology. Each option has its merits and may be selected for use in a given situation.

In fact, a key outcome of this study is *"The results vary widely from country to country; even within the same region there are significant variations in the cost for the same technologies. While some of this spread of data reflects the timing of estimates (costs rose rapidly over the last four years, before falling late in 2008 and 2009), a key conclusion is that country-specific circumstances determine the LCOE. It is clearly impossible to make any generalisation on costs above the regional level; but also within regions (OECD Europe, OECD Asia), and even within large countries (Australia, United States, China or Russia), there are large cost differences depending on local cost conditions (e.g. access to fossil fuels, availability of renewable resources, different market regulations, etc.). These differences highlight the need to look at the country or even sub-country level."*

The other major issue is related to the quality of the data. While high quality data is required to produce reliable figures, the widespread liberalization of electricity markets has reduced access to data on the basis of commercial confidentiality. The final figures are also subject to uncertainty due to the uncertainty of a number of the assumptions including plant costs, future fuel prices and the cost of carbon. The uncertainty in government policies with regards to low carbon technologies in the form of both incentives to build and applying costs to carbon itself is a major uncertainty at this point

in time. Policies with regards to the environment are still at an early stage and are likely to change in the coming years.

2.6 Impact of Location on Nuclear Costs

As discussed above the cost and economic competitiveness of new nuclear plants vary by location. The OECD data has a wide range of costs for nuclear from as little as US$1,600 to $5,900/kWe. The median value is $4,100/kWe.

Another approach is to consider the global average of the OECD data. Taking all 20 entrants into account, the average is US $3,687/kW$_e$. If we then eliminate China and South Korea due to their unique low cost structures, we calculate an average of US $4,299/kW$_e$. This value supports the view that current nuclear costs are in the $4,000/kW range.

Table 2.6-1 Overnight Costs of Nuclear Generated Electricity (OECD 2010)

			Capacity	O/night Cost[4]	O/night Cost[4]	O/night Cost[4]	OM&A Costs
	Country	Type	MW_e	$/kW$_e$	$/kW$_e$	$/kW$_e$	$/MW$_h$
	Belgium	EPR1600	1,600	5,383	5,383	5,383	7.20
	Czech	PWR	1,150	5,858	5,858	5,858	14.74
	France[5]	EPR1600	1,630	3,860	3,860	3,860	16.00
	Germany	PWR	1,600	4,102	4,102	4,102	8.80
	Hungary	PWR	1,120	5,198	5,198	5,198	29.79/29.84
	Japan	ABWR	1,330	3,009	3,009	3,009	16.50
	Korea	OPR1000	954	1,876	1,876		10.42
		APR1400	1,343	1,556	1,556		8.95
	Netherlands	PWR	1,650	5,105	5,105	5,105	13.71
	Slovakia	VVER	954	4,261	4,261	4,261	19.35/16.89
	Suisse	PWR	1,600	5,863	5,863	5,863	19.84
		PWR	1,530	4,043	4,043	4,043	15.40
	USA	Gen III+	1,350	3,382	3,382	3,382	12.87
	Brazil	PWR	1,405	3,798	3,798	3,798	15.54
	China	CPR1000	1,000	1,763			7.10
		CPR1000	1,000	1,748			7.04
		AP1000	1,250	2,302			9.28
	Russia	VVER1150	1,070	2,933	2,933	2,933	16.74/16.94
	EPRI	AP/BWR	1,400	2,970	2,970	2,970	15.80
	Eurelectric	EPR1600	1,600	4,724	4,724	4,724	11.80
	AVG		1,327	3,687 [1]	3,995 [2]	4,299 [3]	13.79

[1] Average US $/kWe of the 20 global entries.

[2] Average US $/kWe of the 17 global entries - China removed.

[3] Average US $/kWe of the 15 global entries - China & Korea removed.

[4] Overnight costs include pre-construction (owner's), construction (EPC), contingemcy, but not IDC.

[5] The cost estimate refers toFlamanville EPR (EDF data) and is site specific.

The above OECD data was collected from 21 countries specifically for this OECD study. Table 2.6-2 below summarizes actual data from a number of projects both recently completed and those now under consideration as reported in various sources[6]. A detailed discussion of projects in a range of countries is presented in Appendix A.

Table 2.6-2 Summary of Capital Costs by Region of New-Build Nuclear

Region	Plant	Type	Size MW	Operation	Total Cost US$B**	Overnight Cost US$/kW
ASIA						
Japan	Onagawa 3	BWR	825	2002		**4336**
	Genkai 3	PWR	1080	1994		**5072**
	Genkai 4	PWR	1080	1997		**4118**
	K-Kariwa	ABWR	1356	1996		**3636**
	K-kariwa 7	ABWR	1356	1997		**3222**
	Hamaoka 5	ABWR	1325	2004		**2759**
	Higashidori	BWR	1067	2005		**3351**
	Shika 2	ABWR	1304	2006		**2357**
Korea	Yonggwang	2-PWR	2000	2001-02		**3600**
	Ulchin 5	OPR	995	2004		**3357**
	Ulchin 6	OPR	995	2005		**2942**
China	Taishan	2-EPR	3500	2014-	7.3	
India	Tarapur	2PHWR	1080			**1800**
North America						
USA	VC Summer	AP1000	2234		11.479	**3787**
	Vogtle 3&4*	AP1000	2200		9.91	**3187**
	Calvert Cliffs	EPR	1650		> 10	
	So. Texas 3/4	ABWR	2660			**3480**
	Turkey Pt.	AP1000	2200		15-18	
	Levy County	AP1000	2200		17	
Europe						
Finland	Olkiluoto 3	EPR	1650	2012	6.3	**4000**
France	Flamanville 3	EPR	1650	2012-14	4.8-6	**3500-4375**
Italy		EPR	1650	2020	5.9-6.6	
Hungary			1000		4.5	
Romania		2PHWR	1440		4.1	
Middle East						
UAE		4-APR	5600			**2300**
		EPR bid				**2900**
		GEHbid				**3583**

* Regulator has accepted Construction Work in Progress (CWIP) meaning financing charges can be passed through to the customers during construction.

**The total cost column includes both escalation and financing costs i.e. it represents the cost of the plant as completed.

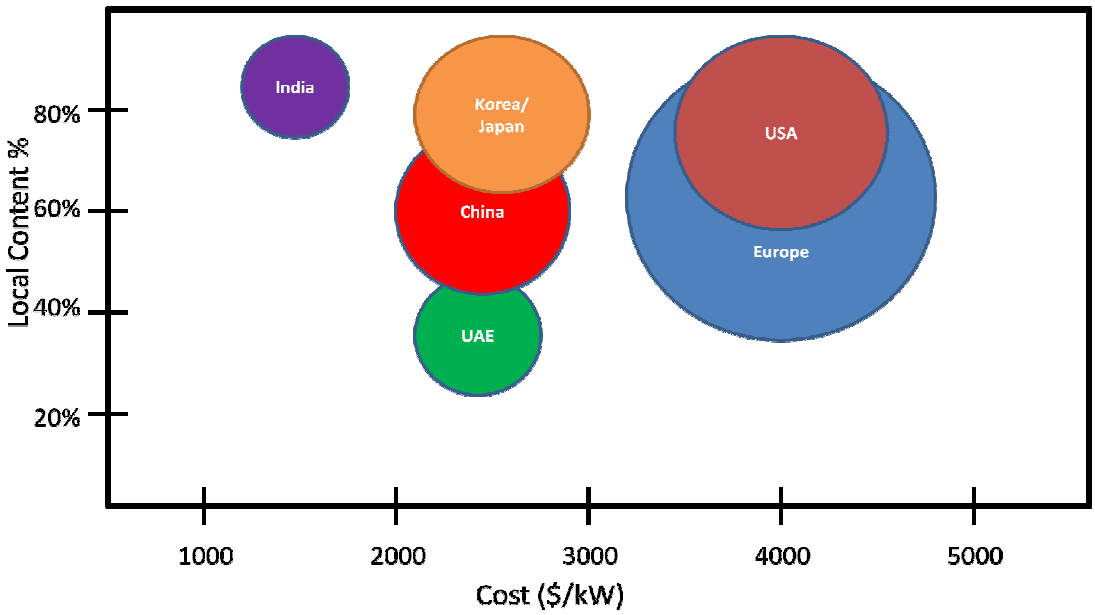
[6] [Add proper footnote; MIT report plus others]

Looking at all o f this data we can conclude:

- A capital cost of $4,000/kW is reasonable for a use as a reference cost for a plant built in the United States.
- The cost is somewhat higher in Europe
- There is evidence in Japan and Korea that costs have peaked and are now coming down due to the benefits of standardization. This is expected and the EIA in the USA makes this assumption in their Annual Energy Outlook
- Costs are low in China, Korea and India due the low cost of local labour and materials and the high level of local content in these countries. Over time, they will become exporters and the global cost of nuclear power will decline. This is now evidenced by the recent sale from Korea to the UAE.

Figure 2.6-1 below shows the variety of costs by location. For nuclear plants, costs vary due to differences in a number of factors including: site specific characteristics, local supply chain, government policies, contractual structure and regulatory regime.

Figure 2.6-1 Variation in Nuclear Cost by Location



Site Specific Characteristics

The international trend is to move towards a global fleet of standardized nuclear designs as a major strategy to both reduce cost and risk. However this cannot completely shield these designs from requiring adaptation to local conditions. Costs are impacted by the temperature and type of cooling water available (sea or river water) and the potential need for external cooling in the form of cooling towers.

Of course weather conditions are also extremely important. Issues such as the risk of flood, earthquake and tornado protection will affect the capital cost of a nuclear plant.

Also the location is subject to different transportation costs depending upon whether there is a good port at sea side, or whether equipment must be delivered by road access.

Finally, the remoteness of a site will affect the cost of site labour. Being closer to a city where staff and construction labour don't have to be relocated to work at the plant site imposes different costs than a remote location where there is a need to build up a new town site for plant staff.

Local supply chain

The local supply chain impacts a number of plant cost categories. The ability to "buy local" may either decrease or increase the costs of equipment. Use of local labour is the minimum issue that needs to be considered. The cost and availability of local staff to both build and operate the plant is important to the final costs. There is also the cost of construction materials such as concrete, rebar and other materials that generally are provided locally.

Contractual structure

The nuclear plant costs are impacted by the sharing and managing of risks. Transferring risk to the vendors generally is associated with higher costs due to higher contingencies built into the vendor price. Discussions in Chile during our first visit in January highlighted this issue as project developers for both hydro and coal plants acknowledged that they pay more for a project in which the vendor takes on full EPC risk. They see this as worthwhile to operate within the Chilean electricity market as cost certainty is an important issue when taking a decision to move forward with a project.

Regulatory regime

Nuclear plants operate in a highly regulated environment. There is generally a long period of project development during which time the project applies for a variety of permits including environmental permits and licences to both construct and operate. Meeting regulations can be quite onerous and where these regulations differ significantly from the country of origin of the plant, it can be both risky and costly to adapt the plant design to meet these requirements.

Government policies

Government policies towards nuclear will have an impact on the costs associated with the plant. Support can be provided in a number of ways. For example, in the United States, the government has offered incentives to build the first new nuclear units. These include insurance for regulatory delays, production tax credits and government loan guarantees. All of these incentives improve upon the competitiveness of nuclear relative to other technologies. Recently loan guarantees have been the biggest issue as raising the necessary financing at an acceptable level of risk is paramount to project success.

The other area of government policy that will impact the cost of generation options is related to the environment and carbon. Many jurisdictions are either implementing or contemplating a variety of approaches to carbon pricing from incentivizing low carbon technologies (such as nuclear), implementing a carbon tax or some form of cap and trade system.

2.7 Impact of New Suppliers on Costs

Another recent impact on nuclear cost is the entry of new vendors from Asia. The recent win by Korea for a project in the United Arab Emirates (UAE) brings a new dimension to the global

competition for nuclear plant sales. The UAE awarded a contract to KEPCO of Korea to supply four nuclear power plants plus operations over its lifetime. The total value of the contract is estimated at $40 billion. This event is monumental for the industry as it clearly establishes Korea as a vendor with its own design – the APR 1400. It also shows that commercial issues have won over political strength. No one predicted Korea to win over its two main rivals, Areva and GEH. Both were strongly supported by the French and US government respectively. It has been suggested that the total bid was $16 billion higher for Areva than the Korean bid.

The impact on the industry of this sale was significant. France denounced the Korean design as less safe than the French EPR design trying to justify the difference in cost. However it has also been reported that both Areva and GEH are turning to Asia to bolster their supply chains with lower cost suppliers. The outcome is likely lower nuclear plant costs for the global industry going forward.

There will always be differences in pricing across vendors and regions, but increased competition will positively impact prices for utilities.

3. COST FOR NUCLEAR PLANT IN CHILE

Key Findings

- Nuclear plants are capital intensive and as such the capital cost is the most important factor in determining the economic competitiveness of nuclear energy.
- The cost of a nuclear plant in Chile is based on a generic 1,000MW LWR design based in the United States. Adjustments are then made to adapt this cost to relevant local conditions.
- In Chile, the cost is impacted by the technical requirements of the site (i.e. high seismic, tornado, tsunami) and the cost of labour and materials in Chile. The cost will also be impacted by the electricity market. This will be discussed in Section 4.
- Most nuclear plants (with the exception of the EPR) are built in pairs. This applies to Chile and likely requires a commitment to 2,000MW to achieve these price levels.
- A cost of a nuclear plant in Chile is derived and provided with a high level breakdown using the IAEA code of accounts.
- MZConsulting estimates the capital cost of a nuclear plant in Chile to be $4,018/kW including an allowance to meet increased seismic requirements
- This indicative cost is useful for preparing a preliminary economic analysis to determine the viability of a nuclear unit in Chile, But it does not replace the need to perform a more detailed cost assessment as a project is developed.
- Global costs have peaked and are expected to decline in part due t the economies of standardization. Given the timeframe for decision, this should reduce both the cost and risk of implementation in Chile by the time a first project is started so long as Chile selects a proven standard international design.
- Operation and Maintenance costs are calculated taking into account the cost of labour in Chile. These are valid for a two unit station.
- MZConsulting estimates the O&M cost for a nuclear plant in Chile to be $7.6/MWh. With a fuel cost of $9MWh, this sums to a production cost for a nuclear plant of $16.6/MWh
- Labour rates in Chile result in an O&M cost on the lower end of the global spectrum.

3.1 Introduction

Section 3 establishes the cost basis of a Reference Plant, based on the international assessment provided in Section 2. This reference cost is then adjusted to meet conditions in Chile. The scope is assessed using the IAEA code of accounts and takes into account the appropriate local conditions. Most of these were determined through a set of meetings with both government and private sector stakeholders in January 2010.

This estimated cost of a nuclear plant is provided for the purpose of assessing the viability of a potential nuclear project in Chile. A preliminary assessment is made in Section 4 of this report. This will then provide a useful reference analysis for future feasibility studies as Chile continues down the path towards the possible introduction of nuclear power.

3.2 Basis of Estimate

In order to develop a reasonable cost estimate for a nuclear project in Chile requires the development of an estimating process suitable to this early stage in the assessment of project feasibility. We selected an approach that first develops a cost estimate for a defined reference plant for a project in North America. This cost is based on our extensive database of nuclear costs and our experience in nuclear project estimating. Once developed, this cost is then adjusted to accommodate conditions in Chile.

At the detailed level the cost is developed considering the following:

- Direct costs – these are costs (e.g. labour, materials, equipment) that are readily traceable to the final product or activity. The direct costs include salaries, wages, equipment, materials or other assignable project costs.
- Indirect costs – these are all costs other than direct costs, i.e. costs that do not become part of the physical facility, but are required for the successful completion of the installation. Typically project indirect costs include management, insurances, consumables and such.

The estimate then individually considers the following components that make-up total estimate:

- Labour – this item represents the cost of staff employed to execute the project tasks. It includes all associated activities required to deliver the project.
- Materials – are required to construct the product, project according to defined specifications. It includes civil materials, electromechanical items, control & instrumentation and process.
- Equipment – includes all required equipment & components, required for construction and installation of systems, including equipment utilized in their construction.
- Subcontracts – typically, the complexity of the nuclear projects requires more than one contract to complete the full project. The total project scope is sub-divided within a qualified group of contractors that jointly design, construct and commission the project.
- Fees – covers all associated fees, permits, insurances, license agreements and such.

The next step in developing a cost estimate is to provide a Work Breakdown Structure (WBS). There are various account systems for nuclear technologies. For this project we have selected the most common WBS - the IAEA Bid Evaluation Code of Accounts. The estimate will be provided to the 2nd level system breakdown illustrated in the table below.

Figure 3.2-1 Work Breakdown Structure

WBS	Description
IAEA	**Direct Costs**
21	Structures and Improvements
22	Reactor Plant
23	Turbine Plant
24	Electrical Plant
25	Miscellaneous Plant
26	Main Heat Rejection System
	Indirect Costs
91	Construction
92	Engineering Home Office
93	Field Office Engineering & Mgmt
94	Owner's Costs
	Base (Overnight) Cost
	Contingency
	Total Cost
	Plant Cost in $/kW$_e$ Gross

The scope of the estimate is a complete nuclear plant including the reactor plant, conventional plant including the switchyard and all other site work assuming the site has been prepared and is level. The costs include the Owner's costs which usually consist of: site acquisition, licensing, duties, taxes and fees, insurances, security provisions, owner's project team and public relations.

The cost will be shown in the above format, in constant US dollars with a base date of January 2010.

3.3 Selecting a Reference Plant

There are over 400 nuclear power plants in operation today. The current operating fleet of reactors operates extremely well. Most of these are considered to be "Generation II Reactors".

Today, vendors are offering reactor designs considered "Generation III Reactors". These are advanced designs with an emphasis on design standardization, up-front licensing and advanced construction techniques. The objective of these deigns designs is to increase safety and reduce risk, while maintaining economic competitiveness.

Nuclear power is a mature technology. Even so, there are a variety of designs available in the market. Light Water Reactors (LWR) have most of the market with Pressurized Water Reactors (PWR) having the largest market share and Boiling Water Reactors (BWR) following next. The Canadian based Pressurized Heavy Water Reactors (PHWR) or CANDU has 10% of the market.

The global market is most interested in the PWR going forward, although interest in the other designs remains.

Generation IV reactors will become available sometime after the next 20 years. Their primary purpose is either to increase temperatures to enable the production of hydrogen for the future hydrogen economy, or they are of advanced fuel cycle design to move nuclear power forward in becoming sustainable.

All mature technologies now being offered widely on the world market are over $1000MW_e$. Economics make small reactors a challenge.

All that being said, and given the maturity of the market, it is non technical issues that will likely govern the selection of a design. Strong vendor companies able to take risk are a requirement with international alliances being paramount.

It is on this basis that we have selected three representative nuclear technologies (as an indicative mix of price, technology, reference plants), to determine a Base Case Reference plant for Chile. All are currently available in the market:

- ABWR $1,400MW_e$
- PWR $1,154MW_e$
- PHWR $725MW_e$

Given the prevalence of the PWR we have combined all of this data to create a hypothetical nuclear unit as the Reference Plant. This unit is nominally 1,000MW and for discussion purposes (i.e. to enable consideration of key components) a PWR. This in no way intends to suggest any specific type for Chile – only to create a reference for discussion.

Once the reference is defined, there are other assumptions required to develop a nominal cost estimate.

Configuration – Two units of 1,000MW built together as one project with one year between in-service dates. Most designs today are offered in a two unit configuration with the exception of the EPR. Costs are reduced due to savings in construction costs and significant savings on O&M due to lower staffing requirements. The units are also n^{th} in a series i.e. these are not First-of-a-Kind (FOAK) designs.

Location – An eastern sea cost in the United States is the reference site. There is no requirement for cooling towers.

Form of contract and financial structure – A typical EPC structure where the vendor and utility share in the risks of the project is selected. This means some element of fixed pricing and some part of the project at risk to the owner. The long schedules associated with nuclear projects make full EPC contracts difficult. This will be discussed further in Section 4.

Schedule – The project will be implemented in six years from project start to completion. This excludes project development and securing necessary environmental approvals. Based on recent studies in Chile, an in-service date of 2024 is assumed.

3.4 Reference Plant Cost Estimate

On the basis of these above assumptions the specific capital cost for the Reference Plant is US $4,277/kW. This is our reference point for the Cost of Nuclear in Chile before taking into account the local conditions. A breakdown by IAEA code of accounts is shown in Table 3.4-1. This is the total cost for a single 1,000MW unit.

Table 3.4-1 Reference Plant Cost Basis PWR 1,000MW$_e$

WBS	Description	USM$2010	%
IAEA	**Direct Costs**	**2,686**	**62.8%**
21	Structures and Improvements	701	16.4%
22	Reactor Plant	918	21.5%
23	Turbine Plant	620	14.5%
24	Electrical Plant	237	5.5%
25	Miscellaneous Plant	98	2.3%
26	Main Heat Rejection System	111	2.6%
	Indirect Costs	**1,334**	**31.2%**
91	Construction	579	13.5%
92	Engineering HO	235	5.5%
93	Field Office Engineering & Management	246	5.8%
94	Owner's Costs	274	6.4%
	Base (Overnight) Construction Cost	**4,019**	**94.0%**
	Contingency	257	6.0%
	1-Unit Cost (based on a twin-plant construction)	**4,277**	**100.0%**
	Plant Cost in $/kW$_e$ Gross	4,277	

Utilizing the Reference Plant Cost data, Table 3.4-2 below provides costs to the next level of detail for the main plant components (or areas) for scope larger than US M$50. These values, as derived from three different technologies, are intended to be indicative only, and should not be used as specific equipment or systems target costs. A more detailed description of the major components using a PWR example (in this case AP1000) is provided in Appendix B.

Table 3.4-2 Reference Plant – Selected Items > US M$50

WBS	Description	US M$2010
211	Yardwork	71,826
212	Reactor Containment Building	236,603
213	Turbine Building & Heater Bay	76,051
215	Primary Auxiliary Building & Tunnels	59,151
216	Waste Process Building	54,926
218	Miscellaneous Buildings	164,777
221	Reactor Equipment (incl. NSSS)	513,190
222	Main Heat Transport System	64,149
224	Radwaste Processing	59,872
226	Other Reactor Plant Equipment	115,468
231	Turbine Generator	349,514
233	Condensing Systems	75,164
234	Feed Heating Systems	82,681
235	Other Turbine Plant Equipment	86,439
242	Station Service Equipment	55,813
245	Electrical Structures & Wiring	51,826
246	Power & Control Wiring	79,733
911	Temporary Construction Facilities	213,470
912	Construction Tools & Equipment	135,844
913	Payroll Insurance & Taxes	223,173
921	Home Office Services	222,993
932	Field Job Supervision	210,147

3.5 Cost Estimate for Chile - Assumptions

In January 2010 meetings were held with both government and private sector stakeholders to establish the basis and assumptions for a project in Chile. As discussed in Section 2.6 there are a number of considerations that impact the cost of a nuclear plant in any given location.

At this time government policy is being considered. Discussions concluded that there is considerable flexibility in government as it considers its nuclear policy so there are no immediate constraints or impediments that impact this cost estimate. The same is true for the regulator. The regulatory framework is somewhat immature. It is assumed that action will be taken to develop the regulatory system in time for a project.

Therefore, there are three areas to be considered that will impact the cost of a nuclear plant in Chile: local participation and content, site conditions (nominally the seismic level) and the contractual approach. The first two are discussed below. The contractual approach is discussed further in Section 4.

Local participation and content

As we have learned in Chile, there are limitations to what level of scope the Chile industry is able to participate under the present conditions. In power generation industry in general, the aim is to get the best value for the money in relations to the quality, safety and reliability of the product. This approach will not change for nuclear generation project either, in fact it will be more likely to take this route.

The general overview of the supply chain indicates that there is very little in terms of nuclear manufacturing and fabrication available, which would not change without substantial amount of investment, and which would not be economically advisable for a small number of nuclear projects. It is therefore not anticipated that any substantial localization will be expected in the major equipment areas.

Chile does, however, have some well-established and technologically advanced manufacturers in the energy sector. The same principles of economic liberalism that define energy legislation apply to the wider economy, and there are few trade barriers to protect Chilean manufacturers. Chile is probably the most pro-market economy in South America, and numerous trade agreements have forced energy components manufacturers to sink or swim. Whatever we can expect to be supplied from Chile will probably be of good quality and at a competitive price. Material supply, as related to the nuclear or conventional systems is probably capable of supplying 10-15% in certain specific areas, e.g. wiring, cabling, small pipe, ducting, cable trays, rebar, aggregates, and such (all in non-nuclear grades).

In terms of engineering in design, support, layout, field engineering, commissioning – there is a potential to a small degree, and also a need to develop local know-how. To the extent feasible we prorated various categories of local engineering support into the local costs.

One other important element of the local scope is the Owner's Management. The participation of the Owner on the high and mid management level provides a direct oversight of the total project, as well as develops the know-how required for future plant operation, or future additional nuclear construction.

Probably the largest impact on local scope participation comes from the construction labour resourcing. In this context, the amount of local labour is in the range of 65-80% depending on category.

Based on the detailed assessment of each main line item of the Cost estimate and considering the assessment of the local expectations as expressed during the visit of January 2010, we can estimate the overall plant foreign vs local scope to be in the range of approximately 85% foreign & 15% local.

On this basis, most of the local participation will come from construction labour (with stipulated requirements and defined qualifications per trade or work phase); some smaller conventional controls & instrumentation material supply; local procurement services; partial "shadow" management support; and designated level of commissioning activities with technology transfer (TT) training for development of the operations & maintenance staff.

This level of local participation basis is not out of line based on our experience for new nuclear market entry of similar proportions. Our experience in Korea (late 70s and early 80s) has shown that when the first unit nuclear construction project stipulated 14% local content in total, the maximum the country could adopt was 9%[7].

The Table 3.5-1 below describes the individual impact of local conditions on construction labour per trade, group, category, or separate activities. Based on discussions in Chile specific formulae for each category of construction work, trades required complexity of installation sequencing and specialty trades needed were developed. This then provided a basis for determining the percentage ratio of each category, developing the base construction man hour requirements. These have been factored on a productivity basis and then converted to a local construction labour cost (utilizing the local rates in US $). This was then combined with the foreign labour component to calculate a total construction cost.

Table 3.5-1 Local Cost of Labour

Chile Reference Labour Rates in US$2010					
WBS	**Description**	**Rate**	**Ref**	**Prod Factor**	**Ref**
IAEA	**Construction Trades**				
21	Structures and Improvements	15.17	PH	10%	Ondac
22	Reactor Plant	15.92	PH	20%	Ondac
23	Turbine Plant	15.83	PH	15%	Ondac
24	Electrical Plant	13.27	PH	10%	Ondac
25	Miscellaneous Plant	13.27	PH	15%	Ondac
26	Main Heat Rejection System	15.81	PH	10%	Ondac
	Engineering				
	Design	22.72	PH	15%	Ondac
	Local ESP	16.24	PH	15%	Ondac
	Layout	18.95	PH	20%	Ondac
	Site	35.88	PH	20%	Ondac
	Management				
	High Level	56.82	AVG	10%	AVG
	Mid Level	35.50	AVG	10%	AVG
	Commissioning				
	Various	14.00	AVG	20%	AVG
	Vendor TT	85.00	AVG	=	=

The full impact of the local scope of work on the reference plant total cost is illustrated in the Table 3.5-2 below. The table identifies the Direct percentage of local participation per individual category, as well as Weighted Average of each category vs the total cost of the project.

[7] It is interesting to note that following a strong commitment to developing a local industry, by the fourth nuclear unit, the local content was at 75%.

Table 3.5-2 Chile Local Scope per Category (Direct & Weighted)

Chile Local Participation in %		Direct		Weighted	
WBS	Description	Local Scope %	Foreign Scope %	Local Scope %	Foreign Scope %
IAEA	**Construction Trades**				
21	Structures and Improvements	80%	20%	4.9%	1.2%
22	Reactor Plant	65%	35%	2.2%	1.2%
23	Turbine Plant	75%	25%	1.9%	0.6%
24	Electrical Plant	75%	25%	1.3%	0.4%
25	Miscellaneous Plant	80%	20%	0.3%	0.1%
26	Main Heat Rejection System	75%	25%	0.3%	0.1%
	Engineering				
	Design				
	Local ESP	7%	93%	1.0%	13.1%
	Layout				
	Site	9%	91%	0.6%	6.4%
	Management				
	High Level	10%	90%	Included in Site Eng	
	Mid Level	7%	93%		
	Commissioning				
	Various	50%	50%	1.1%	1.1%
	Vendor TT				
	Balance of Scope			0.0%	62.0%
		48.5%	51.5%	13.7%	86.3%

Site Conditions

While there is no specific site, an assumption is made that the plant will be located on the sea coast with a reasonable access to communities and with road and sea access. This means there is no need for an extensive town site at the project site.

Chile has very high seismic requirements. To meet these requirements, we started with reference plants, where all have seismic, tornado, missile and tsunami (not all to the same degree) protection as part of their base requirements and technical specifications. Specifically, the ABWR unit reference plant is a typical Japanese design that is designed for the rigorous seismic conditions of Japan.

Quoting Dr. Mauricio Sarrazin Arellano's Report [8]"…They conclude that SSE earthquake accelerations greater than 600 gal (which would be the Chilean case), the additional cost of a power of 1,000MW$_e$ of power would be about US M$400 to 600 (1978). The present total cost of a plant of this size, including financing, would be about US B$6. With the dollar value inflation between 1978

[8] Add reference to report

and today, this compares to roughly 3 times the original value, meaning the additional cost of central seismic zone would be 20% to 30% more."

Dr. Sarrazin's report is very detailed in terms of Chile's seismic history, major faults, anticipated impact conditions, as well as collating various seismic hazard reports. We agree with his findings, given the fact that Chile is located in a very active seismic region, as well as largest recorded earthquake zones; it is only appropriate to address this issue with careful consideration.

As Dr. Sarrazin notes: "*Although the seismic situation can be interpreted as a significant constraint to development, installation of infrastructure and human settlements in the country, experience shows that engineering, if you have technically adequate information on the characterization of seismic hazard, it can drastically reduce impact to acceptable levels, therefore mitigate the seismic risk. Moreover, recent findings in the field of earthquake science has shown that the greatest damage will not necessarily come from those high-magnitude seismic events, but those earthquakes that have specific characteristics depending on the type of seismic source, and where site effects can become significantly important in strong ground motion.*"… this is a very important point to consider and to realize the extent of the seismic threat as well as its mitigation.

As we have witnessed in the case of recent Kashiwazaki- Kariwa event (Japan 2007), the conclusion of post-event investigation and assessment underlined the positive effects of the existing seismic design features, while also identifying some additional improvements in specific areas of these plants.

Most of these post-event improvements were reflected in application of additional snubbers, reinforcement brackets, beams and other structural members. However, there was no major refurbishment of equipment nor any major redesign required as a direct result of the event and both units are back in operation.

On this basis we recommend additional an allowance to the reference plant cost to cover any specifically required additional seismic reinforcement, based on local conditions (keeping in mind that the reference plant includes significant seismic design features and cost for implementation). It is also important to note that designing for these requirements up front will be more cost effective than retrofitting as in the case Kashiwazaki- Kariwa:

Seismic Impact Additional Costs (in US$)		
Item	**Description**	**US M$ 2010**
1	Site – special seismic and geological studies and surveys	20
2	Structural & General Civil Improvements	100
3	Major equipment – additional restraints	50
4	General – anchors, hangers, fasteners, supports (already in, but improved)	50
5	Seismic Instrumentation	15
6	Compliance with additional International Standards	20
	Total	**255**

3.6 Chile Reference Plant Cost

The Table 3.6-1 below identifies the Reference Plant Cost basis for Chile. Utilizing the IAEA WBS, the "vertical" breakdown level identifies the Direct & Indirect component grouping, within which there is a built-in system/area/activity breakdown.

Table 3.6-1 Chile Reference Plant Cost (PWR 1,000MW$_e$)

WBS	Description	Eqt & HO US M$	%	Site M mhrs	%	Site Lab US M$	%	Site Mat'l US M$	%	Σ Cost USM$	Σ %
IAEA	**Direct Costs**	**1,341.429**	**57.7%**	**21.920**	**85.7%**	**550.069**	**86.4%**	**358.175**	**71.2%**	**2,250**	**56.0%**
21	Structures and Improvements	34.904	1.5%	10.092	39.5%	231.097	36.3%	225.335	44.8%	491	12.2%
22	Reactor Plant	627.981	27.0%	4.170	16.3%	128.222	20.1%	52.381	10.4%	809	20.1%
23	Turbine Plant	476.242	20.5%	3.530	13.8%	92.932	14.6%	30.621	6.1%	600	14.9%
24	Electrical Plant	82.339	3.5%	2.779	10.9%	65.465	10.3%	36.427	7.2%	184	4.6%
25	Miscellaneous Plant	39.981	1.7%	0.714	2.8%	15.831	2.5%	6.441	1.3%	62	1.5%
26	Main Heat Rejection System	79.982	3.4%	0.637	2.5%	16.523	2.6%	6.972	1.4%	103	2.6%
	Indirect Costs	**982.005**	**42.3%**	**3.643**	**14.3%**	**86.335**	**13.6%**	**145.228**	**28.8%**	**1,314**	**32.7%**
91	Construction	187.246	8.1%	3.643	14.3%	86.335	13.6%	134.371	26.7%	408	10.2%
92	Engineering Home Office	531.567	22.9%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	532	13.2%
93	Field Office Engineering & Mgmt	263.192	11.3%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	10.857	2.2%	274	6.8%
94	Owner's Costs	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	100	2.5%
	Base (Overnight) Cost	**2,323.433**	**100.0%**	**25.564**	**100.0%**	**636.405**	**100.0%**	**503.403**	**100.0%**	**3,563**	**88.7%**
	Contingency	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	200	5.0%
	Seismic Allowance	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	255	6.3%
	Total Cost	**2,323.433**	**100.0%**	**25.564**	**100.0%**	**636.405**	**100.0%**	**503.403**	**100.0%**	**4,018**	**100.0%**
	Plant Cost in $/kW$_e$ Gross									4,018	

Overall, we feel that this cost estimate represents an accurate assessment of the nuclear project costs of today, while modified for the local conditions, and based on references that are valid today.

Looking back at

Table **2.6-1** it can be seen that Chile, as a low cost country has a lower overall cost than the United States or Europe. It is then adjusted upwards for the higher seismic conditions. However since it is also a low localization country, it does not achieve the lowest costs as in China and India.

3.7 O&M Costs

After the capital cost, it is important to estimate the cost to operate and maintain the plant (O&M). The O&M costs for nuclear plants are significantly larger than for fossil plants and represent 25 to 30% of the unit electricity cost of the plant. It is also very much dependent upon the local conditions since the largest cost is labour.

There are many ways in which an owner can arrange to manage and execute the O&M business functions required for operation of a nuclear plant. The differences usually depend on the

design features of the plant, and the degree to which the owner seeks to retain work internally as opposed to contracting it out to an external supplier. There are also other costs that vary such as allocations to corporate overheads and local taxes.

There is always a trade off between the cost of maintenance and the capacity factor of the plant. In the USA, experience has shown that strong management focus on O&M to deliver preventive maintenance can increase capacity factors and hence lower the O&M cost per unit energy. This does not necessarily require that a plant maintain a high level of staffing on a continuous basis, and can be achieved through good planning and contracting of maintenance services. The latest summary of OM&A data is published in the Nucleonics Week, Volume 50, Number 51, December 24, 2009.

Recent OECD publication of Global Nuclear Power Plants Reference Data, see **Error! Reference source not found.**, summarizes the overnight capital and average OM&A costs of plants. As with the capital cost data, there is a wide variation in these costs across markets.

Based on this data, we conclude the following:

- Recent US data shows the best O&M achieved last year is $13.71/MWh for Browns Ferry Station (TVA), whereas the US average is $19.02/MWh (2006 to 2008).
- Assuming a typical O&M split of labour and materials (80/20) and applying the labour rate differential between the US and Chile (approximately 4:1), this yields an O&M cost for Chile as follows:
    - US Avg $19.02/MWh; (Labour $15.22; Material $3.80)
    - Chile pro-rated OM&A
        - Labour 15.22/4 = $3.80
        - Material $3.80
        - Chile OM&A $7.60
- The OECD 2010 Report (see **Error! Reference source not found.**) indicates a global average of $13.79/MWh. The lowest costs are about $7MWh.
- It is reasonable for Chile, being a low labour cost country to have an O&M cost closer to the lower range in the OECD data. It should also be noted that the newer nuclear designs are taking O&M into account with an objective of reducing the costs of operations.

3.8 Price Trends for the Future

The cost estimates developed in this section are based on a database of reference data and current expectations with regards to new nuclear plant pricing. There are a number of factors that need consideration when looking to nuclear costs in the future.

First, all new designs are intended to be standardized and implement in global fleets. At this point in time only the first of these units are under construction. This is resulting in higher first-of-a-kind costs as the nuclear renaissance takes hold and industry re-establishes the supply chain and knowledge base to increase production of new plants at lower cost and risk.

Given the time frame for a potential project in Chile, it is expected that the ongoing development of the global fleets with extensive development in China and India will continue to reduce costs. Adding new vendors such as the Korea to the mix increases our confidence that prices can continue to improve over the next decade.

This cost estimate is suitable for a study at this stage of the process. As Chile moves forward towards a potential new nuclear unit, a more detailed feasibility study is required at the appropriate time.

4. ECONOMIC ANALYSIS

Key Findings

- The relative competiveness of a nuclear plant relative to the alternatives is considered using the standard Levelized Cost of Electricity (LCOE) methodology.
- The assumptions for nuclear are calculated primarily in Section 3 of this report. The assumptions for fossil and hydro plants are consistent with Ministry of Energy assumptions modified based on discussions with private sector generators and international data where appropriate.
- Nuclear plants are the least cost alternative relative to fossil generation for base load electricity at an 8% discount rate.
- Results are sensitive to the capital cost of nuclear, the discount rate and the cost of fossil fuels.
- Under all scenarios nuclear remains competitive demonstrating the robustness of the economics of nuclear power.
- A carbon market will further enhance the economic competitiveness of nuclear relative to fossil fuels.

4.1 Introduction

As discussed in Section 2, recent studies of the economics of electricity generation have illustrated that nuclear is competitive in most markets. However, it is also clear that the relative economics of various forms of electricity generation vary by location.

In Section 3, the cost of a nuclear plant for Chile was determined. In this Section 4, this cost will be compared to the cost of the alternative forms of electricity generation in Chile including coal, hydro and LNG to determine the economic viability of a nuclear plant for implementation in Chile.

The competitive analysis will be performed using the Levelized Cost of Electricity (LCOE) method as described and used by the OECD NEA/ IEA in their report. This method is recognized as an internationally accepted method of calculating electricity generation costs for the purpose of comparing different forms of electricity generation.

A base case scenario will be established using a set of assumptions determined from conditions in Chile as discussed further in this section. This will be supplemented by sensitivity analysis to key parameters. This will provide useful information to better understand the relative economics of nuclear in Chile and to support the further development of government policy.

Chile has an open and transparent electricity market with generation provided by private sector generating companies. LCOE analysis is not sufficient to determine the viability of building a nuclear plant into this market. A financial analysis will be performed in Section 5 assessing the potential for a nuclear plant to be economically competitive in this open market.

4.2 Methodology

The LCOE is a convenient way to calculate the costs of various electricity generation alternatives for the purpose of comparison. By taking the time value of money into account and discounting back to

a common date, generation alternatives with widely varying cash flows can be compared successfully.

The LCOE[9] is defined as the fixed price of electricity so that sum of the revenues is equal to the sum of the costs when discounted over the plant's lifetime. The formula is:

$$(\Sigma_t([REVENUES_t]*(1+r)^{-t})) = \Sigma_t[COSTS_t]*(1+r)^{-t})$$

$$LCOE*(\Sigma_t(Electricity_t*(1+r)^{-t})) = \Sigma_t((Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Other\ Costs_t)*(1+r)^{-t})$$

$$LCOE = \Sigma_t((Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Other\ Costs_t)*(1+r)^{-t}) / (\Sigma_t(Electricity_t*(1+r)^{-t}))$$

Where:

LCOE *is the fixed price of electricity over the plant lifetime*
Investment$_t$ *is the capital investment cost in year t*
O&M$_t$ *is the operating and maintenance cost in year t*
Fuel$_t$ *is the cost of fuel in year t*
Other Costs$_t$ *are costs that may be included such as decommissioning, spent fuel and/or the cost of carbon in year t*
Electricity$_t$ *is the electricity generated in year t; and*
$(1+r)^{-t}$ *is the discount factor in the year t and r is the discount rate*

While this method can include a variety of costs such as decommissioning and the cost of carbon, there are costs that are not normally included in such calculations. First of all, this method is generally used for calculations where the relative risk of each technology is the same i.e. a regulated utility or government owned utility model.

It is also not usual to include corporate taxes in the LCOE calculation. This is because conceptually, the LCOE is the price where the revenues and the costs are exactly balanced over the plant life. In this case, there are no profits so there is no tax payable in a perfect tax system.

This means that while the LCOE method is extremely useful to compare generation options, it is not the best model to compare varying alternatives with different risk profiles as to whether they can be built into a private or deregulated electricity market. In some cases[10] the calculation is adjusted to take some of these issues into account.

At MZConsulting we believe the best approach to assess a project under these conditions is to prepare a business case analysis modelling the project with its financing structure and assessing the return to equity holders based on the projected cost of electricity in the market. Therefore in addition to the LCOE analysis to compare the costs of nuclear to other options, we will also prepare a business case analysis for building a nuclear plant into the Chilean electricity market. This will include assumptions on the debt/equity ratio, the costs of debt, the price of electricity and the corporate tax rate. The output will be calculated based on the actual annual corporate cash flow and will be the discounted return on equity to the shareholder. The shareholder would then compare this to his own internal hurdle rate for the project.

Both analyses will be performed on a "real" basis i.e. there will be no escalation although there can be real escalation for various cost components such as fuel.

[9] As described in "Projected Costs of Electricity 2010 Edition" OECD NEA/IEA 2010
[10] In the MIT report "Update of the MIT 2003 Future of Nuclear Power" – 2009, both taxes and differing risk adjusted discount rates are used in the LCOE analysis.

4.3 Assumptions

To establish a base case scenario requires a number of assumptions. These include assumptions with regards to the cost of the different types of generating plant (nuclear, coal, hydro and LNG) such as its capital (including project schedule and cash flow), operating costs, cost of fuel and other costs as appropriate. Other costs are the cost of decommissioning and spent fuel management for nuclear and some scenarios with a cost of carbon assigned to fossil generation. Consistent with public economic assessments in Chile an 8% discount rate is assumed.

These assumptions are shown in Table 4.3-1. A discussion of the base case scenario assumptions follows.

Table 4.3-1 LCOE Input Summary – Base Case Scenario

LCOE Assumptions					
	Nuclear	Coal	Hydro	LNG	Units
Net Output	1000	400	300	400	MW
Project Schedule	6	4	4	2	Years
In-service Date	2024	2024	2024	2024	Year
Capital Cost	4018	2300	3000	700	$/kW
O&M Cost	7.60	2.47	5.00	3.00	$/MWh
Fuel Cost	6.93	49.40	0.00	132.13	$/MWh
Decommissioning	1.00	0.00	0.00	0.00	$/MWh
Spent Fuel disposal	1.00	0.00	0.00	0.00	$/MWh
Economic Life	40	40	40	40	Years
Discount Rate	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%	%
Carbon emissions	0	0.839	0	0.361	t/MWh
Carbon price	0	30	0	30	$/tonne

Plant Data

Plant costs and schedule information is required to perform a LCOE analysis. For the nuclear assumptions, data is taken from Section 3 of this report where they are fully described. For the fossil and hydro assumptions, data is taken from Table 4.3-2 below presented by the CNE and then modified based on discussions with Chilean generating companies during meetings to discuss costs in January 2010.

Table 4.3-2 Assumption from previous analysis from the CNE[11]

Tecnologia	CINV	CVT	Tiempo Construcción	Modulos	FP	Vida Util	LIMTE TOTAL TEORICO	Limite Total BAU 80%	LIMITE ANUAL
	US$/KW	US$/MWh	Años	MW	PU	Años	MW	MW	MW
Hidrica convencional	2,000	5.0	4	45	0.58	50	4,500	3,600	225
Hidrica ERNC	2,200	5.0	2	20	0.68	50	800	640	40
Carbon	2,300	37.9	3	200	0.82	30	s/Lim	s/Lim	s/Lim
GNL	700	75.3	2	200	0.89	25	s/Lim	s/Lim	s/Lim
Eolica	1,800	7.7	1	50	0.30	20	5,500	4,400	275
Geotermica	3,550	2.0	2	16	0.84	40	2,050	1,640	103
Biomasa	1,800	15.3	2	30	0.87	30	600	480	30
Diesel	450	99.0	1	50	0.91	20	s/Lim	s/Lim	s/Lim
Nuclear	3,500	20.0	6.0	1100.0	0.85	40	s/Lim	s/Lim	s/Lim
Fotovoltaica	4,500	4.5	1	1	0.35	20	6,250	5,000	313
CSP	4,500	4.5	1	1	0.35	20	6,250	5,000	313

Plant Capacities and In-service Date

This analysis is intended to compare the cost per unit of energy for various forms of electricity generation. It was thus decided that different plant sizes can be assumed for different technologies. A more detailed system analysis would need to be prepared to consider the impact of these different sizes to the system and the economic impact of implanting different technologies on different schedules. In this case, the analysis assumes a plant size based on Table 4.3-2 and discussions with local fossil and hydro plant generating companies.

In a recently released study on the nuclear option, the CNE (now Ministry of Energy) has concluded that a nuclear plant would be a viable option to be in-service in 2024[12]. Therefore 2024 is selected as the in-service date for all options.

Capital Cost

The coal and LNG capital costs are assumed to be the same as in Table 4.3-2 above based on discussions with fossil plant owners. The capital cost for hydro was modified based on discussions with a local hydro generating company.

Project cash flows are assumed to be the same as the MIT 2009 update report. The project schedules agree with the above table with a modest change for coal plants.

O&M costs

Operation and Maintenance costs for fossil fuel and hydro plants have been provided by the Ministry of Energy.

Fuel costs

The price of uranium was discussed in Section 2. The current spot market price is in the $40/lb range. Most analysts predict that it will stay in the $40 - $60 for the near future. In the longer term, higher uranium prices are likely. Predictions vary considerably. It is expected that a price of at least $50 to $60/lb is required to enable the new mines necessary to meet future demand to come into operations. For this analysis, a price of $50/lb is assumed for the base case. The costs for conversion, enrichment and fabrication are based on January 2010 analysis, presented by the WNA.

[11] Modelación Eléctrica de Largo Plazo Ajustada a Informe Precio Nudo Octubre 2009

[12] ANTECEDENTES PARA EL ANÁLISIS DE LA OPCIÓN NUCLEAR DOCUMENTO DE TRABAJO - ÁREA DE ESTUDIOS Y DESARROLLO ENERGÉTICO January 2010

Fossil fuel prices forecasts have been used by the Ministry of Energy for its own analysis. The anticipated prices of fossil fuels are shown in Figure 4.3-1. Since the prices are assumed to increase until 2025, the price in 2024, the year of in-service of the plants is taken for this analysis. Post 2025, the Ministry assumes real escalation continues with coal growing at about 0.4%/year and gas by 1%/year consistent with the WEO 2009. However, recently international fossil prices have fallen below these current value assumptions. Therefore for purposes of this analysis to provide a good understanding of the impact of fuel prices on the relative economics of different technologies, it is assumed that there is no real growth in fuel prices after 2024. Sensitivity analysis then considers the impact of alternative fuel prices.

Figure 4.3-1 Fossil Fuel Price Projections

Año	Coal	Diesel	LNG
	US$/TON	US$/BBL	US$/MMBTU
2009	100.80	56.30	9.51
2010	98.82	64.80	10.46
2011	99.46	65.64	10.45
2012	106.83	71.99	9.28
2013	108.90	73.21	7.18
2014	112.90	74.35	7.78
2015	115.39	75.07	8.29
2016	116.88	76.16	8.72
2017	118.77	77.68	9.12
2018	120.22	79.19	9.51
2019	122.04	80.85	9.76
2020	125.25	82.63	10.23
2021	128.68	84.52	10.69
2022	132.23	86.47	11.17
2023	135.79	88.42	11.67
2024	139.23	90.32	12.15
2025	142.44	92.09	12.62

Growth factors are considered every year, according to data from the projection of Purvin & Getz prices between 2019 and 2025

Other plant costs

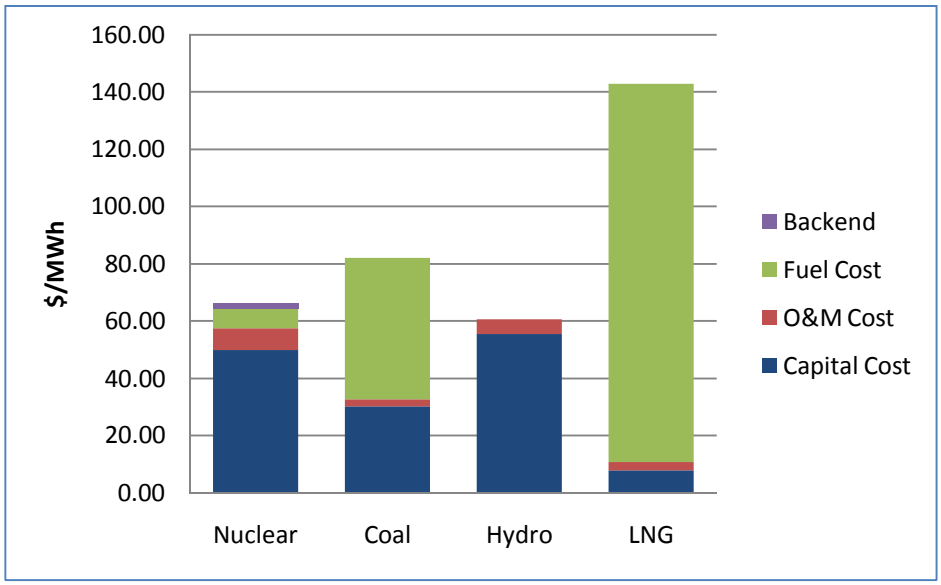
Only nuclear plants are assumed to include the costs of decommissioning and spent fuel management. Spent fuel costs are those of the USA, mandated to be $1/MWh. Decommissioning costs are assumed to be the same although a decommissioning analysis would likely yield costs somewhat lower.

4.4 LCOE Results

Figure 4.4-1 shows the results of the LCOE analysis for the base case. After hydro, nuclear is the lowest cost option when compared to its fossil fuel alternatives. It can also be seen that the fuel cost is relatively small. Therefore the cost of nuclear is likely to be very stable over its lifetime while the costs of fossil fuels are more likely to be volatile. In the case of hydro, sites are limited and there are ongoing concerns with maintaining reservoir levels. As a result, it is noted that the Ministry of Energy in its analysis assumes a relatively low capacity factor (58%). In our view, this capacity

factor is not sufficient to consider hydro as a base load option. Therefore, from this comparative analysis, nuclear is a viable option for base load energy in Chile on an economic basis.

Figure 4.4-1 Levelized Cost of Electricity



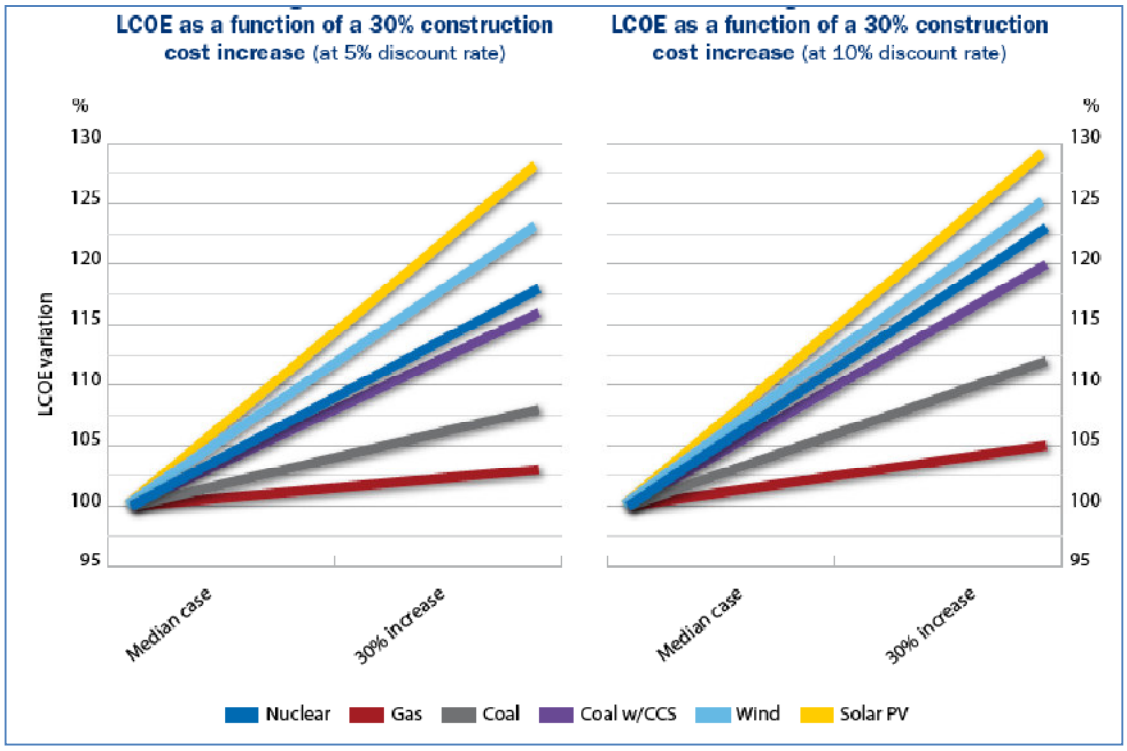
4.5 Issues Affecting Economics - Sensitivity Analysis

The key parameters that impact the competitiveness of nuclear are: nuclear investment cost, the discount rate, cost of fossil fuel (primarily LNG) and the cost of carbon, if any. The following discussion uses the OECD NEA/ IEA report sensitivity analysis to demonstrate the effect of each of these parameters. Chile specific sensitivity analysis then follows.

Since nuclear is a very capital intensive technology, it is most sensitive to its investment cost. The relatively long project schedules amplify this effect. Figure 4.5-1 below illustrates the large impact of investment cost for capital intensive technologies. This demonstrates that managing the risks of a nuclear plant and building to cost and schedule are essential to a successful nuclear program.

The nuclear industry has been taking significant action over the last two decades to improve upon the capital cost both in terms of reducing the cost and the risks associated with the costs. These initiatives include a strong move towards design standardization, upfront and pre-licensing, shortening project schedules, making use of existing sites and for the existing fleet, power uprating, performance improvement and life extension. All of these things ensure that the maximum amount of energy is produced per dollar of capital invested.

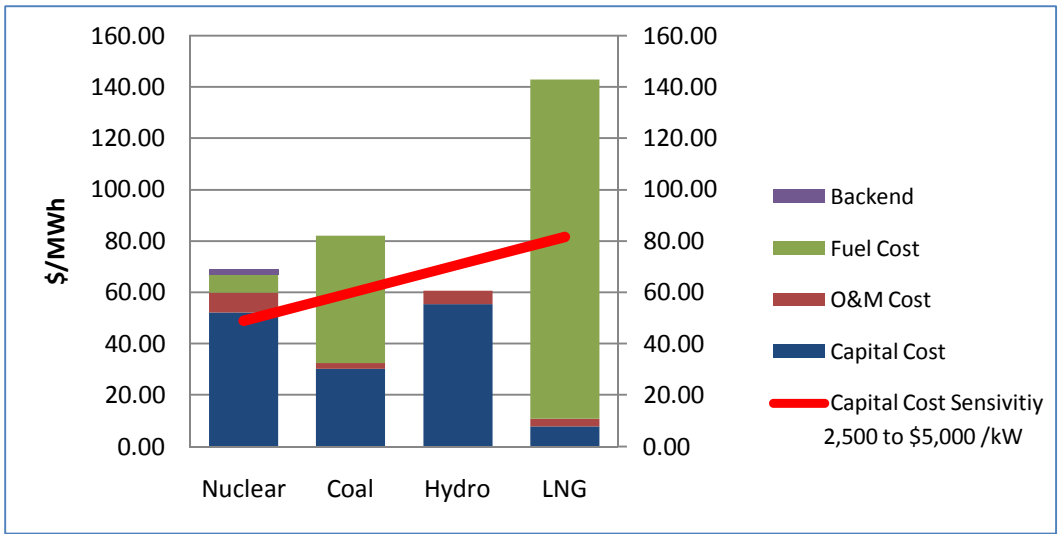
Figure 4.5-1 Sensitivity to investment cost for various technologies



Source: OECD NEA / IEA "Projected Costs of Electricity 2010 Edition"

Using the base case analysis the impact of a change in nuclear capital cost is shown in Figure 4.5-2.

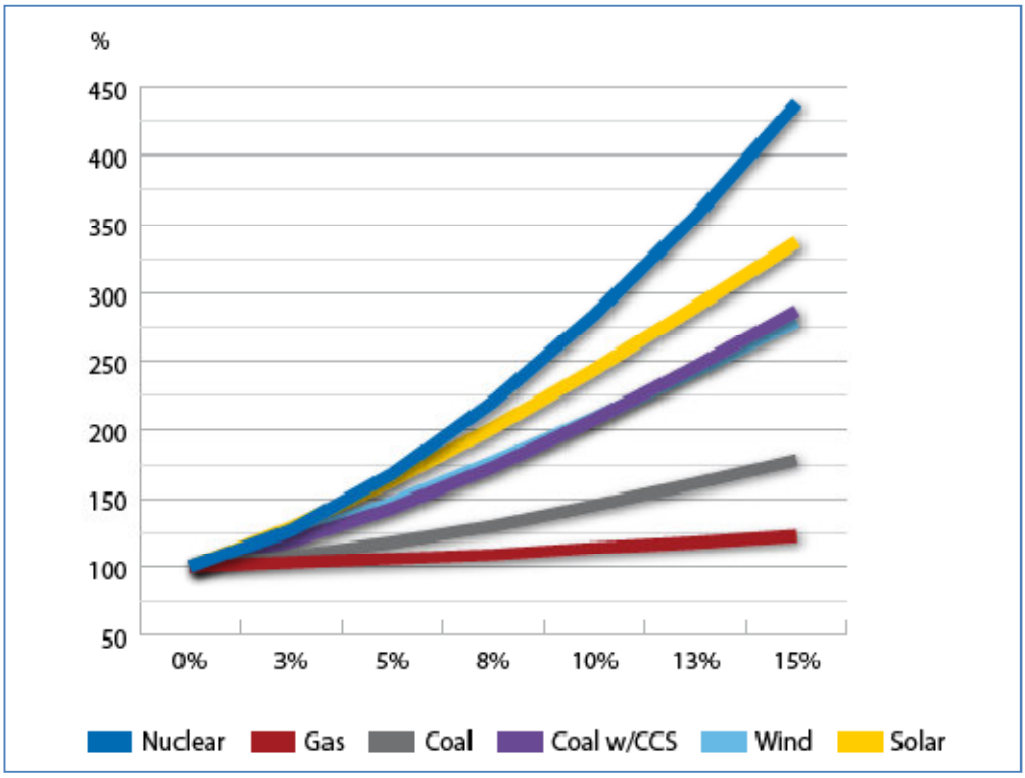
Figure 4.5-2 Sensitivity to Nuclear Capital Cost



The capital intensive nature of a nuclear plant coupled with the long project schedule mean that the LCOE is very sensitive the discount rate. Higher discount rates favour low capital technologies where most of the costs are far into the future and lower discount rates favour capital intensive projects where the large investment costs are spent early in the project life. The following figure

illustrates how overwhelming the sensitivity to discount rate is for nuclear relative to the alternatives. This clearly means that the cost of funds is a very important parameter in developing any nuclear project, especially in the context of a private sector market.

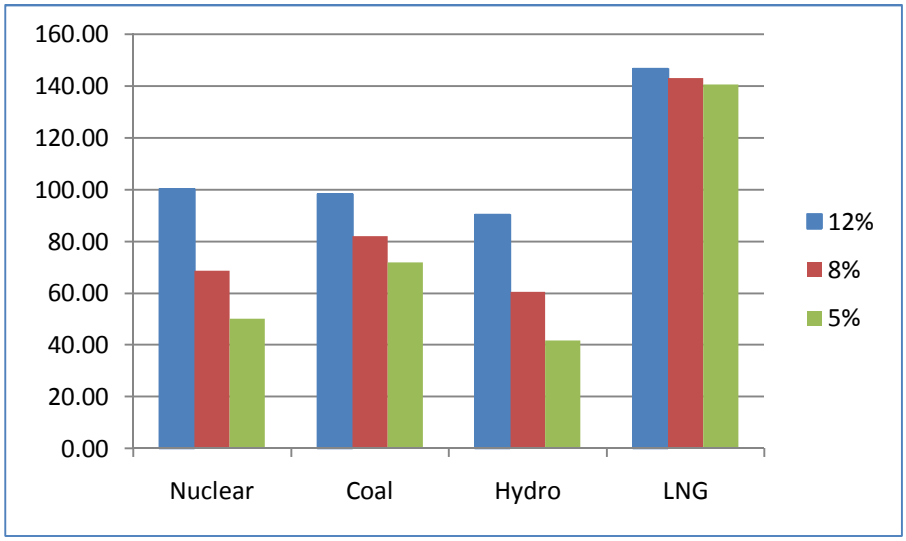
Figure 4.5-3 LCOE as a function of discount rate



Source: OECD NEA / IEA "Projected Costs of Electricity 2010 Edition"

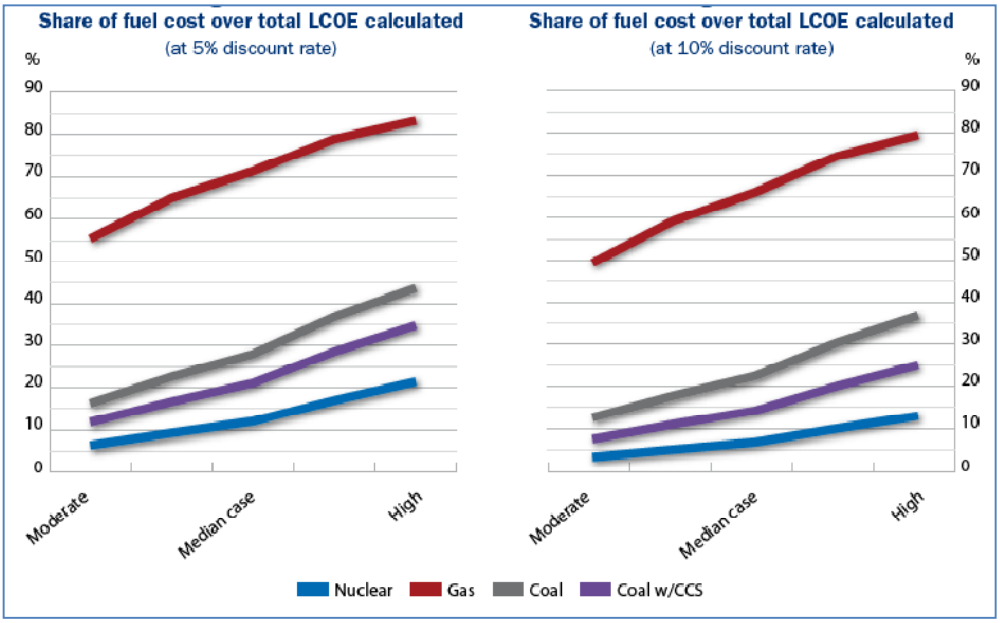
For this analysis discount factors of both 5% and 12% were also considered. As shown in Figure 4.5-4 the capital intensive technologies such as nuclear and hydro have a large sensitivity to the discount factor. A lower discount factor enhances the advantage of nuclear over the fossil alternatives substantially.

Figure 4.5-4 LCOE at varying discount factors



The third parameter is the fuel cost. Gas is most affected and then coal. Coal is interesting in that its costs are balanced so it is equally sensitive to a number of parameters. Figure 4.5-5 shows the sensitivity in a slightly different way, illustrating the relative share of fuel cost to the total LCOE for different technologies. This demonstrates the sensitivity of LCOE to fuel costs for gas and the relative lack of sensitivity of LCOE to fuel costs for nuclear. The importance of this sensitivity is magnified as it becomes apparent that the cost of electricity in the market will most closely track LNG (gas) prices.

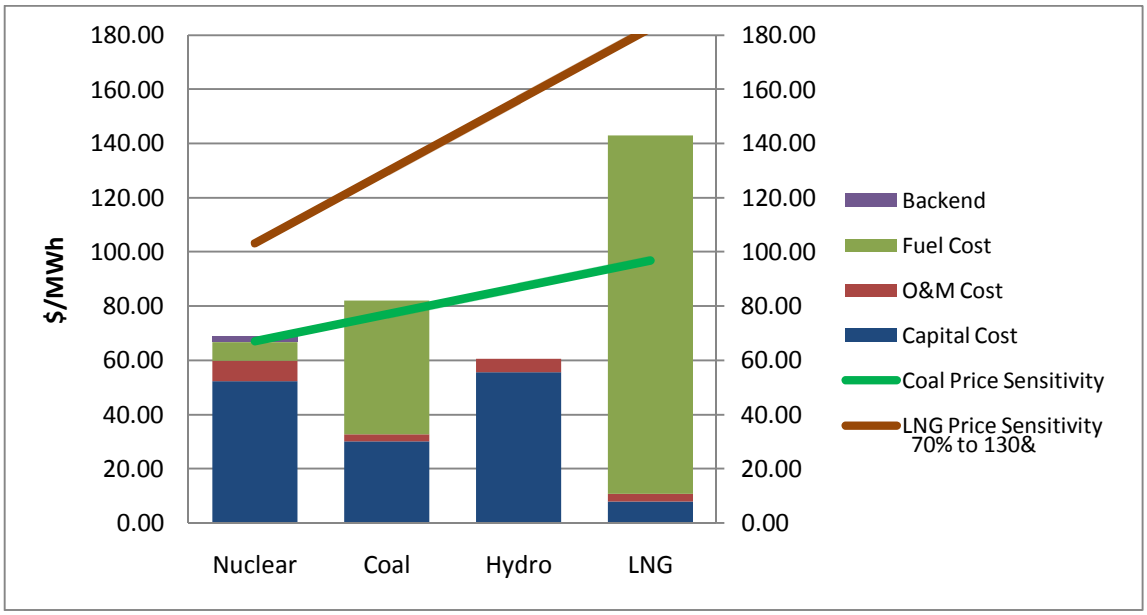
Figure 4.5-5 Share of Fuel Cost over total LCOE



Over the past year international fossil fuel prices have dropped. Figure 4.5-6 shows the LCOE varying the fossil fuel prices by +/- 30%. LNG is always more costly than nuclear while coal

approaches the nuclear cost at the lower end of the fuel price assumption. Therefore the competitiveness of nuclear in Chile remains quite robust.

Figure 4.5-6 LCOE sensitivity to fossil fuel prices



4.6 Outside Impact – Environment and Climate Change Policies

Many of the global studies on the economics of nuclear power demonstrate that nuclear can be competitive with other forms of generation technologies in most jurisdictions around the globe. This is true even without considering the cost of carbon and how it may soon add to the cost of fossil fueled generation.

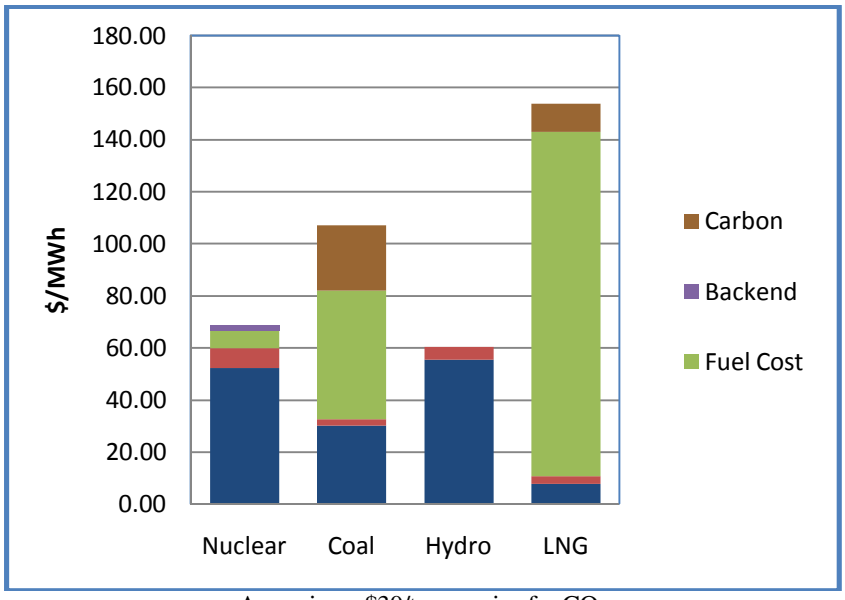
Nuclear plants have had to internalize the full costs of generation associated with the technology since its inception. This means that every nuclear plant in the world takes the cost of spent fuel disposal and final plant decommissioning in its costs. This has not been the case for coal and gas plants.

In today's world, climate change has become a top level issue with most governments planning to take significant action to combat carbon emissions. The current issue of the World Energy Outlook has two alternate scenarios – a 550ppm scenario and a 450ppm scenario. These scenarios demonstrate to governments what is needed to be done to achieve a lower carbon emission world. The purpose of these scenarios is to provide input to policy decisions especially for the upcoming Copenhagen meetings where countries are going to explore the post Kyoto world.

To achieve lower carbon emissions requires a step change in the way electricity is produced, meaning that most new generation will have to be low carbon technologies. This means either nuclear, renewables or new technologies for fossil fuels that include Carbon Capture and Sequestration (CCS). In order to incent this direction requires that carbon start to be priced in the market. Given the time frame for the implementation of a plant in Chile, it is likely that some form of carbon market will be established on a more global basis and that Chile will be a participant. Adding a cost of carbon improves the economics of nuclear power. Assuming a modest carbon cost

of $30/tonne CO_2, Figure 4.6-1 illustrates the impact to the LCOE. It can be seen that a nuclear plant becomes a very economic option in times when there is a price for carbon. Therefore having nuclear in the system reduces the overall cost risk associated with fossil fuels, both due the volatility of the price of the fuel itself, and the risk of increasing the price of fossil fuels due to the implementation of a price for carbon.

Figure 4.6-1 LCOE with Carbon Price



Assuming a $30/tonne price for CO_2

5. THE ELECTRICITY MARKET IN CHILE – FINANCIAL ANALYSIS

Key Findings

- Chile has a market based electreicity system with generation provided by independent private generating companies
- A financial analysis is provided considering the structure and costs of implementing a nuclear plant into the electricity market in Chile.
- Nuclear is a viable option for implementation into the Chile electricity market.
- An after tax return of 12 to 15% is feasible to investors
- Due the the risk profile of a nuclear plant, it is unlikely that off balance sheet financing can be secured on a purely market basis
- A strong creditworthy generator is required to raise debt financing
- Experience in the USA has demonstrated that even relatively large utilities require support to manage these risks.
- Government support is likely required to assist with the management of construction period risks and to enable project financing.

5.1 Introduction

Chile was a pioneer in deregulating the electricity sector and is now justifiably proud of its well developed market for electricity. The regulatory framework for Chile's electricity supply industry is based on the principle of competitive markets for generation and supply.

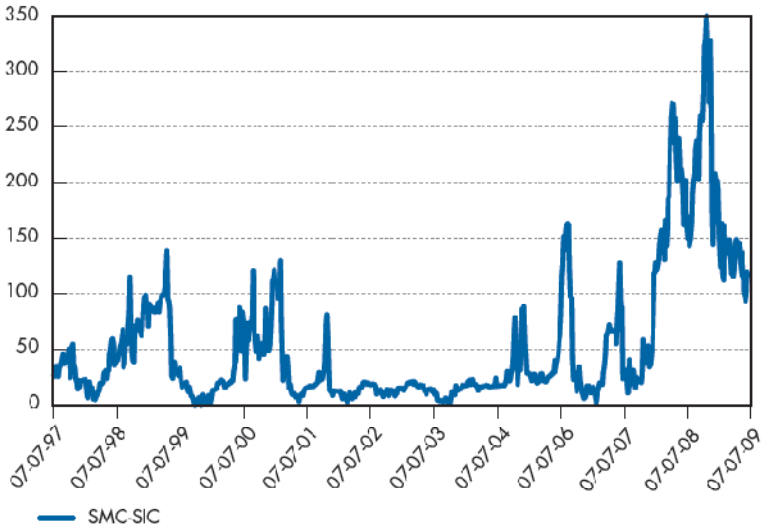
The Chilean electricity systems are operated as are mandatory pools, into which generators are required to sell all their hourly generation at the corresponding hourly marginal cost projected for the injection node. The only participants in the spot market are generators, who perform two roles: as generators and as retailers to both distribution companies and to non-regulated customers. Generators are also required to buy their hourly contracted demand at the corresponding hourly marginal cost projected for the demand node. Dispatch and prices are based on an economic merit order in which the lowest marginal cost generator is used to satisfy demand before the next lowest marginal cost producer is dispatched. The dispatch schedule takes account of transmission constraints, so that the prices that come out of the process include the cost of dispatching the system to alleviate constraints. Generators are not free to bid what they like to be dispatched. They are instead dispatched on the basis of their audited variable generating costs (fuel plus variable operation and maintenance costs defined as their "Production Cost").

Income from energy sales is complemented by capacity income. All generating units receive a capacity payment, on the basis of their *potencia firme* (firm power). The price paid for peak power is determined by the CNE on the basis of the annualised cost of a reference efficient peaking unit. An open cycle gas turbine has been chosen as the least-cost peaking unit. Its capital costs are annualised using a 10% real discount rate and the cost includes annual fixed operation and maintenance costs. The reference peaking unit is currently a diesel-fi red gas turbine with an installed capacity of 70 MW.

All generators in the market are private companies. They are expected to build new capacity into the without any government incentive. There are currently 35 generating companies in the SIC and 8 in the SING systems. However, in both systems, most of the market is controlled by 3 companies.

There have been a number of disruptions to the market, the most recent in 2008 when Argentine gas was removed from the market and the water levels for hydro were low[13]. Government took a number of actions and avoided a complete crisis as electricity supply continued to meet demand. Figure 5.1-1 shows the marginal cost in the SIC over the past decade. It shows the impact of the crisis in recent years but the price has now reduced once again and is about $100/MWh. The lack of gas and the need to use LNG as well as imported coal will continue to support higher prices going forward.

Figure 5.1-1 System Marginal Cost in SIC (US$/MWh)



Source: Chile Energy Policy Review 2009, IEA

In this system, a nuclear plant would nominally be implemented by a private sector company on the same basis as any other form of generation. There are a number of issues associated with implementing nuclear into a private sector open market system. The following section will consider the financial impacts of implementing a nuclear plant into this market. It will determine if the financial returns are there for a potentially viable project. However, there are issues associated with financing a project in this type of market. Therefore, an adequate return alone will not be sufficient for a project to proceed. The issues with this type of market and nuclear is discussed further in Section 5.4.

5.2 Financial Analysis Assumptions

The objective of this business case is to lay out the general parameters of the project and determine if there is set of inputs that can result in project success. It is a high level study, not intended to be at the level of detail required by an investor, but rather to demonstrate project viability. If this project is to proceed, it is essential that the revenues generated by the project cover the costs and provide an

[13] Argentina started to reduce gas deliveries in 2004. The combination of gas reduction and lack of water made 2008 into an electricity crisis.

adequate return to the investors. The structure of the project will affect the costs so must be considered in the analysis.

The financial data is a function of a number of things including the project structure selected as well as the financial markets. The Base Case assumption is that the project is structured as a private sector plant with a 50/50 debt equity ratio. This will then be assessed relative to the rate of return required by an owner in Chile.

The additional financial assumptions used for the nuclear business case are shown in Table 5.2-1.

Table 5.2-1 Financial Assumptions for Business Case

Business Case Assumptions	Nuclear
Debt / Equity Ratio	50%
Tenor	30
Rate	7.0%
Depreciation Period	20
Tax Rate	17.0%
Electricity Price*	98.43

***Electricity price is equal to the marginal cost plus a capacity charge of $8.43/MWh**

Debt

Interest rates continue to be at historical lows as a result of the current global financial crisis. It is expected that rates will start to increase later in 2010. Since this project is to be in service in 2024, meaning a project start in about 2018, it is very difficult to predict the interest rates suitable for this far in the future. In this case, an interest rate of 7% is assumed.

Depreciation Method

A simple straight line depreciation method is assumed for this calculation. An accelerated depreciation period of 20 years is assumed.

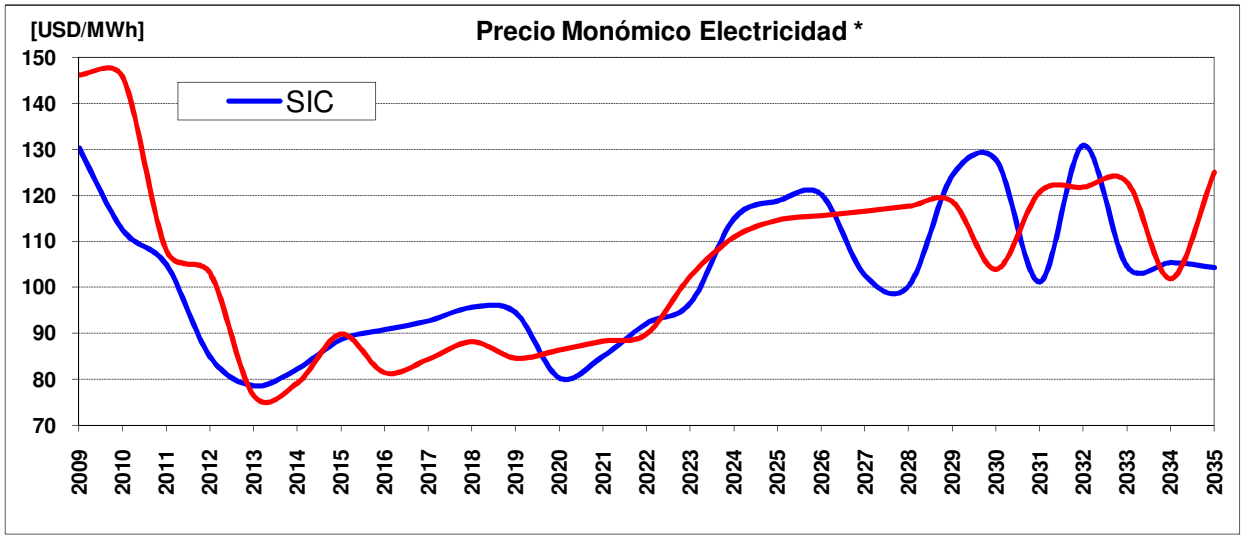
Tax Rate

For Chile, a corporate tax rate of 17% is assumed based on discussions with local generators and the Ministry.

Market Data

Figure 5.1-1 above shows the current marginal cost to be of the order of $100/MWh. Data from the Ministry shows the marginal cost to vary in the range of $70 to $100/MWh. For the purpose of this analysis a marginal cost of $90/MWh was assumed.

Figure 5.2-1 Electricity Price Forecast by the Ministry of Energy



Includes both marginal cost and a capacity charge of $8.43/MWh

5.3 Business Case Results

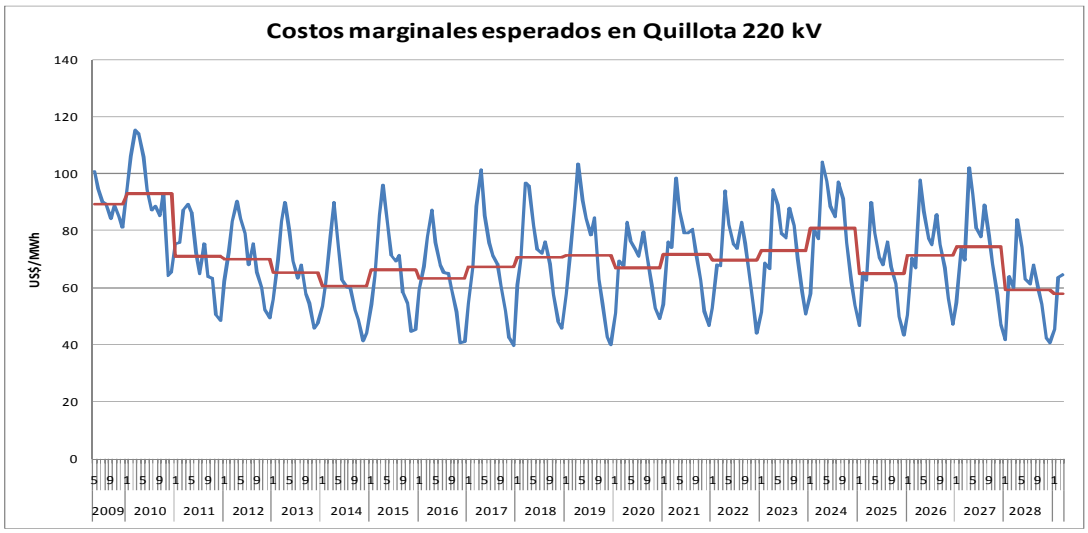
Using the base case discussed above, the results show that the return on equity is about 14% before tax and 13% after tax. As this calculation is at a high level and is real, without any assumption for inflation, a return of between 12-15% would be expected to be required, assuming that the risk allocation is sufficient to attract investors. During discussions with the private sector in Chile, a WACC of 8.5% nominal or 6.8% real was deemed to be reasonable for some companies. Therefore, the project is viable under these assumptions. Of course, the outcome will be very dependent upon the actual costs and the financial model finally implemented.

Given the high level nature of the calculation it is important to look at the sensitivity to the key parameters to help understand what inputs are required to achieve a successful project. The key parameter in this analysis is the marginal cost of electricity. Figure 5.3-3 below shows the variation of IRR after tax to electricity price. It can be seen that the return to investors is impacted significantly by changes in electricity price.

In their analysis, SYSTEP assumed concluded that the lower marginal cost for nuclear would impact the system marginal cost resulting in a reduction on the order of $15/MWh. The SYSTEP analysis expects that the nuclear plant will reduce the cost to the system with the first unit coming into service in 2024 followed by a second unit in 2028[14].

[14] Note that it is likely that units will have to be implemented in pairs to achieve favourable economics. Therefore it will be unlikely to implement two units more than 18 months apart.

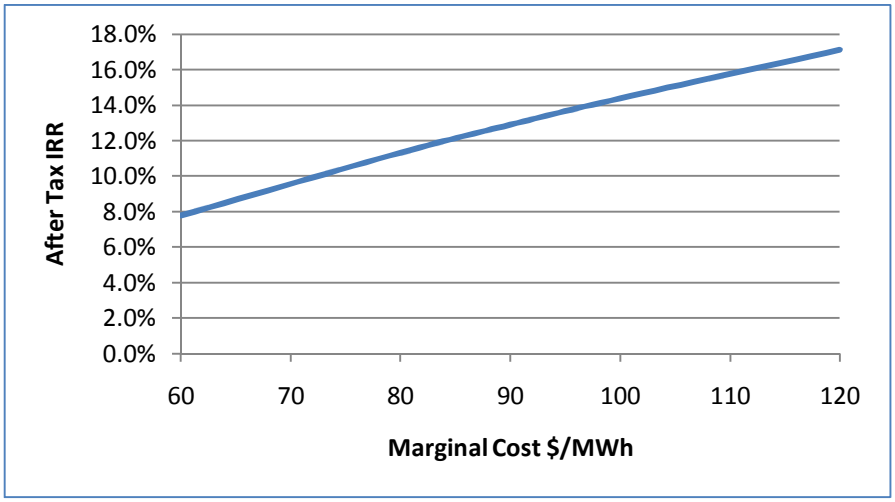
Figure 5.3-1 Marginal cost forecast to 2028



Source: Análisis y Propuesta de Regulación Núcleo-Eléctrica Resumen Informe Final – SYSTEP Januray 2010

The impact of this reduction in price would negatively impact the viability of the project. The potential for this type of negative feedback requires further study as more details of a project are developed.

Figure 5.3-3 Impact of Marginal Cost



5.4 Potential Impact of Structure on Cost and Financing

Nuclear reactors are capital intensive, have long project schedules and operate in a complex and rigorous regulatory regime. Due to the nature of the risks for a nuclear plant, vendors and generators are unable to take as much risk as for other generation options. Market models whereby some level of risk is passed on to the customer are necessary for a nuclear project to succeed. First-of-a-Kind projects such as the EPR project in Finland are having significant issues resulting in extensive delays and overruns. In this project, the vendor took significant risk, more than has been the norm in

nuclear projects. The belief that this risk transfer would reduce project risk to the owner was a fallacy. In fact, this model has clearly failed as even with this contractual model the project is years late and well over budget.

Project structuring must focus on success, not pushing risk onto others. The plant owner (generator) must ensure adequate oversight of the project as the ultimate risk of the project remains with him. Pushing more risk onto the contractors is not a replacement for adequate oversight that can identify and take action when project issues arise in a timely manner.

For a completive private market system as in Chile, many projects are structured to achieve "off balance sheet" financing, in which the project structure itself would be the security for the lenders and investors. This structure requires complex contractual arrangements and is generally more expensive that on balance sheet financing. A PPA is not sufficient security in of itself to raise financing for a nuclear project. The project schedules are long and the case of non completion or delayed completion with increased costs needs to be addressed.

The financing arrangements for a project are the test of structuring success. Lenders and equity investors are very careful with their funds and will only invest in projects that they believe will succeed. Usually this means for off balance sheet financing that the lenders will require the generator to secure a full EPC fixed price contract for the plant. First of all, as confirmed in discussions with private companies in Chile, this can increase the cost of the plant by about 20%. This would have a serious negative impact on the project economics and the returns to equity holders. In any case, as discussed above, this model is likely not feasible for a nuclear plant due to its more complex risk profile and longer project schedule.

The only viable alternative to raise debt, either in the long term debt (bond) market, or short term from commercial lenders requires that there be a creditworthy borrower. Normally this would mean for a project of this magnitude, a large utility type of company with a very strong balance sheet. However, even with a strong balance sheet, the structure of the project itself will affect the creditworthiness of the company. We can see in the US today that the industry has stated a need for a strong government guarantee program, hence removing much of the project risk from the lender and the completion risk from the equity investor, a key to project success.

As a result of these issues, many governments have implemented policies to incentivize new nuclear plants. The most generous are in the US as it has been recognized, that in some cases, the ability to take on risk may go beyond the capability of large companies hence requiring government support.

A recent publication from the OECD NEA has clearly stated that nuclear plants require some form of government support in most cases. *"In countries with large utilities with the financial strength to invest directly in new NPPs, or where there are well-resourced foreign utilities willing to make such investments, fully commercial financing may be possible. However, in other cases it may prove impossible for a nuclear project to go ahead without direct or indirect public sector financial support, in order to reduce the investment risks to acceptable levels.*

This could involve supporting a state-owned utility in making nuclear investments, providing support to private sector utilities through loan guarantees, tax credits or other measures, or establishing public-private partnerships. However, it must be recognised that governments will not wish to remove too much risk from private sector investors, that investors should pay the full costs of

any financial assistance they receive, and that risk-reward ratios should be appropriate for all investors.[15]"

It is also recognized that the risk is higher during construction than during the operations of the plant. Therefore, models that provide support during construction but expire during operation are possible.

[15] The Financing of Nuclear Power Plants, OECD NEA, 2009

Appendix A COST OF NUCLEAR PLANTS IN DIFFERENT COUNTRIES

The status of programs in countries in Asia, Europe, the Middle East and North America are reviewed below as to current costs and economic competitiveness relative to the alternatives that are relevant in these markets.

A.1 United States

In the USA, there has been a significant move towards new nuclear. There are currently 18 applications before the USNRC for licenses for new plants, both in regulated and in deregulated utilities. Given the changes in the cost of new nuclear plants, the Nuclear Energy Institute (NEI) issued an updated comparison between nuclear and other options in August of 2008.

Figure A-1 US Cost Analysis prepared for NEI

Brattle Group Analysis of Generating Costs

	Nuclear	SCPC	SCPC w/ CCS	IGCC	IGCC w/ CCS	Gas CC	Gas CC w/ CCS
Capital Cost ($/kWe)	4,038	2,214	4,037	2,567	3,387	869	1,558
Levelized Cost ($/MWh)	83.40	86.50	141.90	92.20	124.50	76	103.10

SCPC = supercritical pulverized coal; CCS = carbon capture and storage; IGCC = integrated gasification combined cycle; CC = combined cycle

Source: The Cost of New Generating Capacity in Perspective, NEI August 2008

This analysis by NEI shows that nuclear continues to be competitive in its markets with the alternatives including coal and gas although gas is expected to be the most economic option. In addition to this analysis, regulators in Georgia, Florida and South Carolina have approved going forward with new nuclear projects. While these approvals are an indication that the economics of these projects makes sense in these markets, capital costs remain an issue and recently the regulator in Florida did not approve applications to have Florida Power and Light and Progress Energy include construction work in progress (CWIP) into their rate bases. Both utilities subsequently announced that they would delay their plans for new nuclear. At a recent conference in the USA, Areva's senior person for new builds in the USA said CWIP is the cheapest way to build a plant, and is needed.

In February 2009, President Obama announced that the first DOE loan guarantee would go to Southern Company to build a twin AP-1000 plant at Vogtle. This is a major breakthrough as it demonstrates the current administration's support for nuclear and will hopefully lead the way to the first nuclear new builds in the USA in more than 30 years.[16]

[16] Loan guarantee offers for Vogtle project advances construction hopes; Nucleonics Week, February 18, 2010

The DOE offered conditional loan guarantees to three partners in the project: $3.4 billion to Southern Co., a subsidiary of Georgia Power; a $3.1 billion guarantee to Oglethorpe Power; and a $1.8 billion guarantee to Municipal Electric Authority of Georgia (MEAG will sell 65% of its share to utilities in Florida and Alabama). A fourth partner, the city of Dalton, Georgia did not apply for a loan guarantee. Project cost to completion is estimated at $14 billion, excluding financing. The remaining costs would be paid by utilities issuing bonds, raising equity, or using cash. Southern has not sought loan guarantees from Japan's export credit agency for the project (Westinghouse is majority owned by Toshiba).

Meanwhile, another of the four short-listed projects for loan guarantees, NRG's South Texas project (2 Toshiba ABWRs), remains in the running for guarantees after a dispute between project owners over project costs threatened to derail it.[17] Rather than own half the expansion project as originally planned, the San Antonio municipal utility will now hold just 7.625% of the project. NRG is seeking Japanese export bank financing for their project.

New nuclear construction in the USA presents many challenges and requires various financial options and partnering. President Obama has proposed an increase to the loan guarantee program from $18.5 billion to $54.5 billion as part of the fiscal 2011 budget. This increase would help several other projects waiting in the wings.

As part of MIT's Update on the Future of Nuclear Power, the Center for Advanced Energy Systems updated the cost of nuclear power as calculated in its 2003 study[18]. This was done by updating the 2003 calculations, adding further data on more recent builds in Japan and Korea and careful analysis of the forecasted costs on some recently proposed plants in the US.

While the main focus is on the changing cost of construction of new nuclear plants, the 2009 Update also looks at recent cost escalations for commodities and engineering projects, and compares the updated levelized cost for nuclear against similar considerations for coal and gas plants.

The updated study found that the overnight cost of building a nuclear plant had approximately doubled, from $2,000/kW in $2002 to $4,000/kW in $2007. Incorporating all costs, the 2009 study found that the levelized cost for nuclear is 8.4c/kWh in $2007. The levelized cost of coal and gas, exclusive of any carbon charge, is 6.2 and 6.5c/kWh respectively. When included a $25/tCO2 carbon charge, the cost for coal and gas increase to 8.3 and 7.4c/kWh respectively.

The 2009 MIT study looked in detail at overnight costs for several proposed nuclear plants in the US. The costs lay between $3,500 and $4,800/kW. They were careful to note that none of the figures represent actual costs and take as their central estimate $4,000/kW. The escalation from $2,000 to 4,000/kW between 2002 and 2007 is the basis of their 15% escalation factor.

Three of the plants Table 4 of the MIT 2009 study are short-listed for the US federal loan guarantee program and, along with the fourth short-listed project - Unistar's Calvert Cliffs 3 project, are discussed in detail below

[17] NRG Energy, CPS Energy settle dispute over funding for new nuclear reactors, Dallas News, February 18, 2010
[18] MIT, 2003, Future of Nuclear Power

A.2 South Carolina Electric & Gas/Santee-Cooper V.C. Summer 2&3

The cost estimate for South Carolina Electric & Gas (SCE&G) proposed two AP1000s at its V.C. Summer site in South Carolina was made in a combined environmental and petition for a determination of need filed by SCE&G with the Public Service Commission of South Carolina in May 2008. Costs were projected with generation starting in 2016 for the first unit and 2019 for the second. Total project costs were $6.313 billion for SCE&G's 55% share, which translates to a total project cost of $11.479 billion. Excluding capital and other charges and denominating in 2007 dollars, they calculate a total project cost of $8.459 billion in 2007 dollars, which translates to $3,787/kW overnight costs in 2007 dollars.

A.3 Southern Vogtle 3&4

Georgia Power, owned by Southern Company, is proposing the addition of two AP1000 units with a total capacity of 2,200MW at its Vogtle plant site in Georgia. The capacity would be shared with Oglethorpe Power Corp., Municipal Electric Authority of Georgia (MEAG) and Dalton utilities with shares being 45.7% for Georgia Power and 30%, 22.7% and 1.6% respectively for the others.

Georgia Power's cost estimate was produced in its application for certification of the units and its updated integrated resource plan filed with the Georgia Public Service Commission in August 2008. The two units were proposed to come on line in 2016 and 2017. The total in service cost is forecasted to be $6.447 billion for Georgia Power's share, or $14.107 billion in total. Details were not provided so MIT assumes the capital and transmission components are the same as SCE&G's and arrive at an overnight cost of $10.439 billion or $4745/kW in 2007 dollars.

In January 2010 Southern reached an agreement with the DOE on terms of the government loan guarantee.[19] The DOE will not award the actual loan guarantee until the NRC has issued a construction permit-operating license (COL). According to Southern's Chief Nuclear officer, Jeffrey Glasser, for a regulated utility like Southern, the benefits of loan guarantees would be passed on to utility customers in the form of lower rates, but they were not central to the competitiveness of a nuclear plant over its lifetime. He said the cost of a nuclear plant is the most important factor for utilities in regulated markets.[20]

On the other hand, Michael Wallace, Chairman of Unistar Nuclear Energy, said that federal loan guarantees are "absolutely critical" to the construction of merchant power plants in deregulated markets like Maryland where Unistar, a joint venture between Constellation energy ad EDF, are proposing to build Calvert Cliffs 3, a 1,650MW USEPR. Unistar was successful in its application for a loan guarantee for Calvert Cliffs. In commenting on Obama's proposal to almost triple the size of the loan guarantee program[21] Wallace said it will be a "decade or so" before banks will have sufficient confidence to finance a merchant nuclear power project without loan guarantees.

Wallace went on to say "only the DOE really knows" how the loan guarantees will shake out and that the cost of credit will depend on several factors including how the DOE views the risk of each project and how much financing is guaranteed by others such as export credit agencies. He expects shareholders to finance 20% of the project from equity and 80% through a combination of export credits and commercial debt. The cost estimate for Calvert Cliffs-3 has come down as design

[19] Southern, DOE agree on terms of loan guarantee, sources say; Nucleonics Week, January 7, 2010
[20] Cost, not guarantees, said key to new nuclear in regulated markets; Nucleonics Week, February 4, 2010
[21] Expanded loan guarantees seen providing boost to projects, industry; Nucleonics Week, February 4, 2010

information has firmed up thanks to the EPR projects in Finland, France and China. Details are not given but Wallace did say that the estimated cost of the units exceeds $10 billion.

A.4 NRG South Texas 3&4

NRG are proposing two new units at its South Texas project. Units 3 & 4 would be GE's ABWR with a combined capacity of 2,660MW.

The existing two units are co-owned with CPS Energy, San Antonio's municipal utility, and Austin Energy. In early 2008, the city of Austin chose not to participate in the new project, citing overly optimistic cost estimate and construction schedule, leaving the ownership 50-50 with NRG and CPS Energy.

NRG announced a partnership with Toshiba for the development of new nuclear plants in the US in March 2008 - Nuclear Innovation North America (NINA) and updated the cost estimate. MIT estimated the total overnight cost at $3,480/kW, the lowest of the estimates but close to Florida Light and Power's (FPL) Turkey Point.

The project has been subject to much controversy and risked cancellation due to a lawsuit between the two partners NRG and CPS[22]. Problems arose over Toshiba's cost estimate which was reportedly several billion dollars higher than the $13 billion estimate CPS had given city officials. CPS continued to fund the project through January and Toshiba was scheduled to provide an updated cost estimate.[23] The suit has been settled as discussed elsewhere in this report with CPS reducing its share in the project but no new cost estimate from Toshiba has been made public.

A.5 Asia

The MIT 2003 Study looked at the cost of building 7 reactors in Japan and South Korea between 1994 and 2002. They found that the Overnight Cost was about $4,000/kW in $2007.

To obtain the cost in $US, they converted from the local currency to $US and then used a Purchasing Power Parity (PPP) conversion factor to get the US equivalent in $/kW. Costs were then adjusted to 2002 overnight costs. These costs are then escalated to $2007 by applying a 15%/y inflation factor to get $2007 Overnight Costs, which ranged between $3,222 and 5,072/kW and averaged $4,000/kW

Over the years 2004 to 2006, five additional reactors were completed in Japan and Korea. For these Japanese and Korean plants, the average cost is just under $3,000/kW in $2007. The authors suggest this perhaps reflects continuing improvements in construction or other design features.

The 2009 Annual Energy Outlook[24] published by the EIA looked at the cost characteristics of advanced nuclear technology and gives a reference case for overnight cost in $2007/kW decreasing with time from $3,318/kW in 2008 to $2,954 in 2020 and $2,372 in 2030.

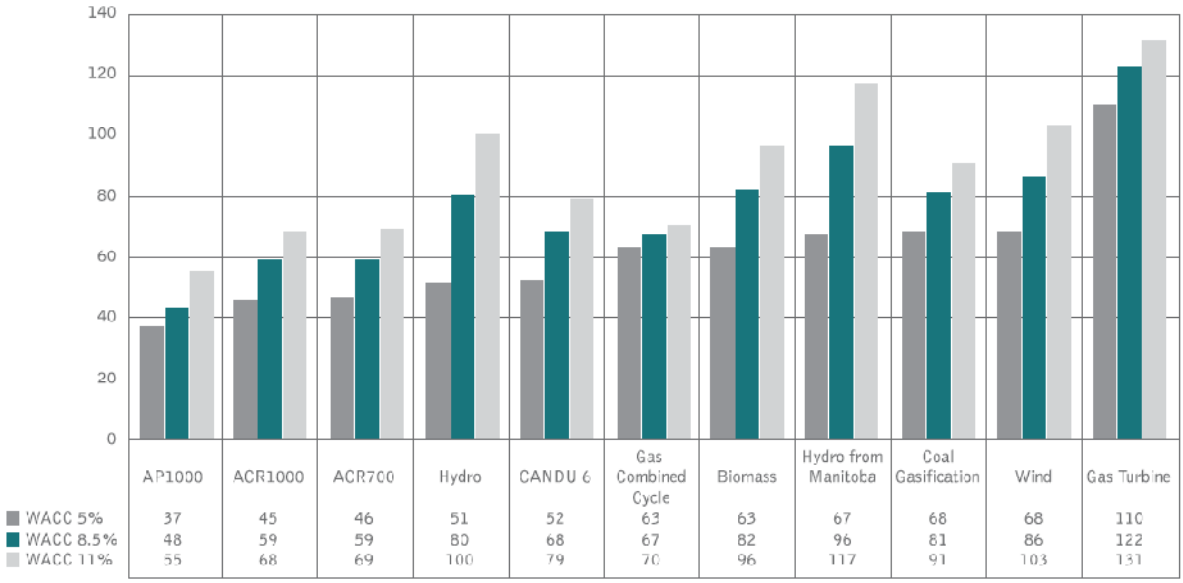
A.6 Canada

In Ontario, the first assessment of nuclear economics for new build was done in 2005 as part of the Ontario Power Authority (OPA) supply mix report. In this report, nuclear continues to be the most economic option for the province of Ontario. In this case, coal is not an option as the Ontario

[22] NRG 'perplexed' as CPS explores exiting plan for new Texas reactors; Nucleonics Week, December 10, 2009
[23] CPS to fund Texas nuclear project for at least one more month; Nucleonics Week, January 7, 2010
[24] EIA 2009 Annual Energy Outlook, March 2009

government has taken a decision to shut down all coal. Therefore, nuclear generally compares favourably to gas and wind.

Figure A-2 Economics of Nuclear in Ontario



Source: OPA, Vol. 2, 238.

This study led to a decision in Ontario to proceed with a new nuclear unit. Following a staged bid process, bids were received from two bidders at the end of February 2009. A decision was expected by summer 2009 but on June 29, 2009 the Ontario government bid process for new reactors was suspended as a result of the bid prices being billions too high.[25]

AECL's bid was the only 'compliant' bid but was 3 times higher than what the Ontario government had expected to pay. Sources said that 2 next-generation CANDUs (ACR-1000s) would have cost $26 billion or $10,800/kW. By comparison, the Ontario Power Authority has assumed $2,900/kW for planning purposes in 2007.

Areva's bid came in at $7,375/kW and was based on a similar cost estimate Areva had prepared for Calvert Cliffs 3. Areva's lower price than AECL's was because they were not prepared to take on as much risk as the Ontario government had hoped.

AECL complied with the Ontario risk-sharing requirement but was in turn required by the federal government to price this risk into its bid.

The numbers have not been confirmed by the Ontario ministry.

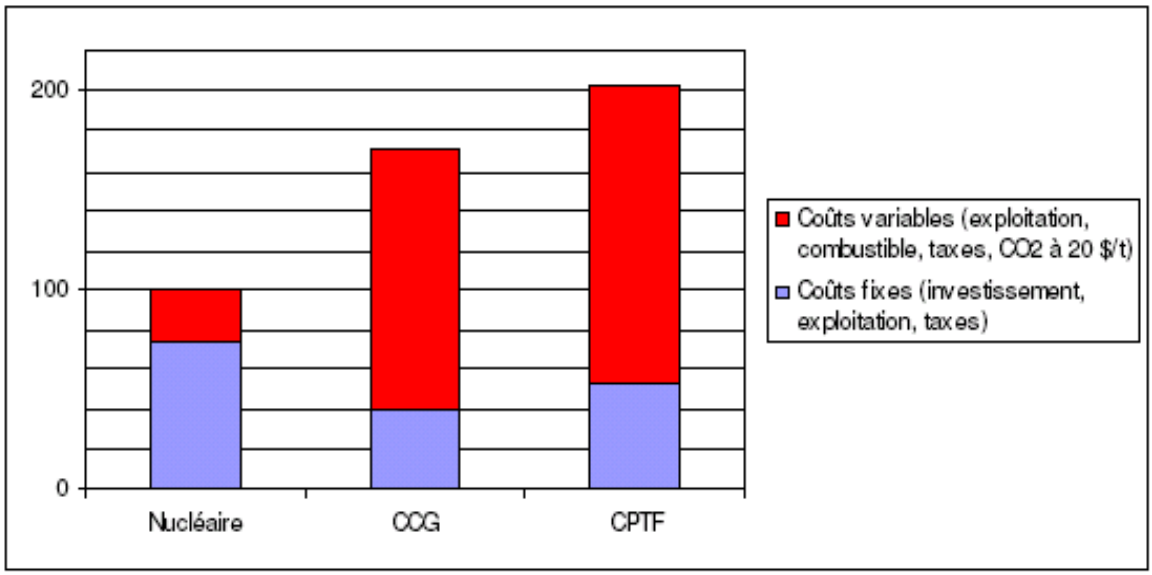
A.7 Europe

France has the highest percentage of nuclear power of any country in the world. They are at close to 80% nuclear. They have taken a decision to follow up the Finnish reactor with the first EPR in France at Flamanville. More recently the utility EDF has published the results of its assessment

[25] $26B cost killed nuclear bid; The Star, July14, 2009

showing that nuclear continues to be economic. This has led to a recent decision to add another EPR at Penly.

Figure A-3 Economics of Nuclear versus Gas and Coal in France 2008



Source: EDF Presentation to the WNA Economic Working Group January 12, 2009-03-18

Finland is the first of the western nations to embark upon a renewed nuclear program. The Olkiluoto 3 project has received much press as it is the first of the Areva EPR reactors to be constructed. This project is now over budget and 3 years behind schedule, however, the case for nuclear was compelling in Finland as shown below.

Figure A-4 Comparatives Costs in Finland (2006 €/MWh)

Wood	Peat	Coal	Gas	Nuclear	Wind
51	55	52	52	23	45.5

Source: Nuclear Energy Outlook 2008

These numbers presented the case prior to the current project overruns. The original estimate was €3.2 billion ($4.5 billion) with completion date of 2009. This translates to $2,900/kW.[26]

The project is behind schedule and the revised completion date is 2012. The revised cost estimate is €4.5 billion ($6.3 billion), or about $4,000/kW. It is uncertain if interest costs are included.

The second EPR under construction is at Flamanville in France. There have been construction issues and the cost has risen from €3.3 billion ($4.8 billion) to €4billion. This puts the cost at about $3,500/kW. The reports are that Flamanville 3 is two years behind the 2012 completion schedule

[26] Reference 2- Update on the cost of nuclear power, Yangbo Du and John Parsons, MIT-NFC-TR-108, May 2009

and the cost of the unit has risen to €5billion.[27] However, even in light of these overruns, Finland is now going through the process of seeking approval for a 6th nuclear plant to follow on from the Olkiluoto 3 project demonstrating Finland's continuing belief in the economic competitiveness of nuclear power.

In the UK, support for new nuclear continues to grow. Energy security is now considered of utmost importance. The market in the UK is rapidly changing with the purchase of British Energy by EDF of France. This coupled with the auctioning of nuclear sites and the interest by various other large European utilities clearly demonstrates their belief in the competitiveness of nuclear power.

The current government model in the UK is for the private sector to take on the risk of new build nuclear. Updated analysis by government in the UK issued in 2007 shows that nuclear is competitive with alternative generation options.

Figure A-5 UK Government Projection (£/MWh)

Nuclear	CCGT	Onshore Wind	Offshore Wind	Existing Coal CCS	New Coal CCS
37.7	37.3	56	84	40 – 48	43 – 55

Source: UKDTI "Nuclear Power Generation Cost-Benefit Analysis"

However, according to a recent report by Citigroup Investment Research[28], new nuclear plants will not be built in the UK without direct government support. The report put construction costs, excluding financing, in the range of €2,500/kW to €3,500/kW (US$3,719/kW to $5,206/kW). For a 1,600 MW EPR, this means construction cost of €5.6 billion. Citigroup say in a purely wholesale market such as the UK, there is no active way for a developer to recover construction cost overruns. The UK government continues to insist that there will be no subsidy for new nuclear.[29]

A.8 UAE

At the end of 2009, it was announced that a KEPCO led consortium won the contract to supply four reactors to the United Arab Emirates (UAE). The reactors are scheduled to start supplying electricity to the grid in 2017.

The Koreans unexpectedly won over the French and GE. The construction units of Samsung and Hyundai along with 67% Toshiba owned Westinghouse were part of the KEPCO-led consortium. The French consortium included Areva, GdF Suez SA, Electricite de France and Total SA. General Electric and Hitachi (GEH) made up the US-Japanese consortium.

The value of the deal was less than some expected. It is reported that he Korean bid was $2,300/kW compared to $2,900/kW for Areva and $3,583/kW for GEH[30]. According to UAE officials, the price had come down as a result of the economic crisis. It also appears that international competition has changed, positively impacting the future price of nuclear plants globally[31].

[27] French union 'Flamanville delayed'; Nucleonics Week, January 28, 2010.
[28] New Nuclear – The Economics Say No; Citigroup Global Markets, November 9, 2009
[29] The UK government will not subsidize new nuclear power plants; Nuclear News Flashes, January 21, 2010
[30] Landmark nuclear power plant deal sounds energy alarm within South Korea; The Hankyoreh, December 28, 2009
[31] Korean Team to Build UAE Nuclear Plants; Wall Street Journal, December 28, 2009

The Koreans offered the APR 1,400, Areva its 1,650MW EPR and GEH the 1,350MW ABWR (many of which have been built in Japan). The first APR 1,400 began construction at Shin-Kori 3&4 in 2008 and is under construction. This unit is also planned for use at two other sites in Korea.

The APR 1,400 is a third-generation model based on the Westinghouse AP 1000. Recent plants in Korea are the smaller OPR 1000 design, Korea's first domestic design. Four more OPR 1000s started construction between 2006 and 2008.

The Korean win has sparked a debate on the relative safety of various reactor designs with the French claiming the EPR is more expensive due to enhanced safety measures such as steel-lined double containment and a core catcher. The Korean design has a single-containment structure and doesn't have a core catcher. The French claim the Korean design would not be licensed in France.[32]

UAE officials countered saying the APR 1,400 met the highest international standards and reflected new reactor safety guidelines published by the USNRC.[33] The design issue debate is largely related to the ability to cope with external events such as air crashes and terrorist attacks.

In the case of the APR 1,400, the decision by Korean industry to opt for the single containment was made in large part to reduce construction cost and shorten the schedule.[34]

The ENEC said it evaluated supply chain, construction, quality assurance, and operations performance to obtain a holistic and accurate picture of expected total safety performance.

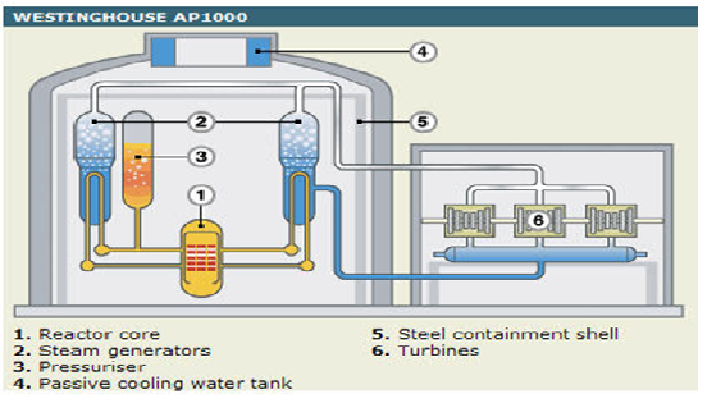
The bid result has led Areva and GEH to look at ways to cut costs.[35] They will not materially change their designs but are looking to change supply chain and contractors to different geographical areas. Both are looking at closer cooperation with Indian contractors and manufacturers and Areva is planning on working more closely with Chinese partners.

[32] Lauvergeon: French lost UAE bid because of expensive EPR safety Features; Nucleonics Week, January 14, 2010.
[33] ARP-1400 'met highest standards' during safety evaluation, ENEC says; Nucleonics Week, January 21, 2010
[34] Korea plans to expand APR horizon, backed by UAE vote of confidence; Nucleonics Week, January 7, 2010
[35] Areva, GEH looking for ways to cut costs; Nucleonics Week, January 21, 2010

Appendix B REFERENCE PLANT – BASIC CONCEPT AND MAJOR COMPONENTS

Outline below is a high-level description of a typical PWR unit with reference to technology, systems, components, as well as some major specific equipment.

Figure B-1 Reference Plant Technology Base



Source: AP 1000 Westinghouse Nuclear (Mar 2010)

B.1 Major Equipment Description

The PWR nuclear reactor selected is based on Westinghouse AP1000 unit, which in turn is based on tested and proven technology. The reactor coolant system (RCS) consists of two-loop heat transfer circuits, each with a steam generator; two reactor coolant pumps; and a single hot leg and two cold legs for circulating coolant between the reactor and the steam generators. The system also includes a pressurizer, interconnecting piping, valves and instrumentation necessary for operational control and the actuation of safeguards. NSSS equipment is located in the reactor containment. All safety-related equipment is located in containment or in the auxiliary building. These two buildings are on a common, seismically qualified base-mat, therefore reducing the plant's seismic footprint. All major components have been proven in operating reactors under similar flow, temperature, and pressure conditions, except reactor coolant pump.

The reactor vessel and internals are essentially same as the conventional Westinghouse PWRs. The reactor vessel is the same as the three-loop plant, with nozzles adjusted to accommodate the AP1000's two loops. The internals are also standard, with minor modifications. Several important enhancements have been implemented over the previous three-loop PWRs: e.g. fuel performance improvements (Zircaloy grids), removable top nozzles, and longer burnup features, use of a standard 17 X 17 fuel assembly and more than 15 percent margin to the departure from nucleate boiling (DNB) limit for loss-of-flow accidents.

B.2 Steam Generators

Two, model Delta-125 steam generators are used in the two-loop design. Although larger than the AP600 steam generator size, they still fit into the n the AP600 containment diameter of 130

feet. The steam generators are based on standard Westinghouse Model-F technology (there are some 75 Model F-type units in commercial operation, with the highest level of reliability achieved by any steam generator worldwide). This reliability record is due to such enhancements as full-depth hydraulic expansion of the tubes in the tubesheets; stainless steel broached tube support plates; thermally treated, corrosion-resistant Inconel 690 tubing; upgraded antivibration bars to reduce wear; upgraded primary and secondary moisture separators; and a triangular tube pitch.

B.3 Reactor Coolant Pumps

The reactor coolant pumps are canned motor pumps to circulate primary reactor coolant throughout the reactor core, piping, and steam generators. Two pumps are mounted directly in the channel head of each steam generator. A variable speed controller is used for cold start-up to compensate for the water's density difference. At power, the variable speed controller is disconnected and the pumps operate at constant speed. The auxiliary fluid systems that support a canned motor pump are much less complex than those for a shaft seal-type pump. The integration of the pump suction into the bottom of the steam generator channel head eliminates the crossover leg of coolant loop piping; reduces the loop pressure drop; simplifies the foundation and support system for the steam generator, pumps, and piping; and eliminates a potential for uncovering the core during a small LOCA.

B.4 Pressurizer

The pressurizer volume is 2,100 cubic feet. The design is identical to the original AP 600 design, except taller (to accommodate the larger volume, diameter was maintained, height was increased). With diameter being the same, there is no layout effect on structures and piping around the pressurizer, giving similar margins and operating bands as the previous generation type.

B.5 Containment Vessel

The vessel is freestanding 39.62-m (130-ft) diameter, consisting of three ring sections and an upper and lower head. The ring sections and vessel heads are constructed of steel plates pre-formed in an offsite fabrication facility and shipped to the site for assembly and installation using a large-capacity crane. The largest ring section includes the polar crane support and weighs approximately 658 metric tons (725 tons). Each of the two heads weighs approximately 500 metric tons (550 tons).

B.6 Passive Safety Systems

Passive systems provide plant safety and protect capital investment. They establish and maintain core cooling and containment integrity indefinitely, with no operator or AC power support requirements. The passive systems meet the single-failure criteria and probabilistic risk assessments (PRA) used to verify reliability. The passive safety systems are significantly simpler than typical PWR safety systems. They contain significantly fewer components, reducing required tests, inspections, and maintenance. The passive safety systems have one-third of remote valves as typical active safety systems, and they contain no pumps. Equally important, passive safety systems do not require a radical departure in the design of the rest of the plant, core, RCS, or containment. The passive safety systems do not require the large network of active safety support systems needed in typical nuclear plants. These include AC

power, HVAC, cooling water, and the associated seismic buildings to house these components. This simplification applies to the emergency diesel generators and their network of support systems, air start, fuel storage tanks and transfer pumps, and the air intake/exhaust system. These support systems no longer must be safety class, and they are either simplified or eliminated. For example, the essential service water system and its associated safety cooling towers are replaced with a non-safety-related service water cooling system. Non-safety-related support systems and passive safety systems are integrated into the plant design. Licensing safety criteria are satisfied with a greatly simplified plant. The passive safety systems include:

Emergency Core Cooling System

The passive core cooling system (PXS), protects the plant against RCS leaks and ruptures of various sizes and locations. The PXS provides core residual heat removal, safety injection, and depressurization. Safety analyses demonstrate the effectiveness of the PXS in protecting the core following various RCS break events. Even for breaks as severe as the 8-in. (200-mm) vessel injection lines, there is no uncovering of the core. Following a double-ended rupture of a main reactor coolant pipe, the PXS cools the reactor with ample margin to the peak clad temperature limit.

Safety Injection and Depressurization

The PXS uses three sources of water to maintain core cooling through safety injection. These injection sources include the core makeup tanks (CMTs), the accumulators, and the in-containment refueling water storage tank (IRWST). These injection sources are directly connected to two nozzles on the reactor vessel so that no injection flow can be spilled in case of larger breaks. Long-term injection water is provided by gravity from the IRWST, which is located in the containment just above the RCS loops. Normally, the IRWST is isolated from the RCS by check valves. This tank is designed for atmospheric pressure. The RCS must be depressurized before injection can occur. The RCS is automatically controlled to reduce pressure to about 12 psig (0.18 MPa), at which point the head of water in the IRWST overcomes the low RCS pressure and the pressure loss in the injection lines. The PXS provides depressurization using the four stages of the automatic depressurization system (ADS) to permit a relatively slow, controlled RCS pressure reduction. The CMTs were enlarged to the limit of the room in which they reside. This provides adequate margin without requiring redesign of adjacent piping and structure.

Passive Residual Heat Removal

The PXS includes a 100 percent capacity passive residual heat removal heat exchanger (PRHR HX). The PRHR HX is connected through inlet and outlet lines to RCS loop 1. The PRHR HX protects the plant against transients that upset the normal steam generator feedwater and steam systems. It satisfies the safety criteria for loss of feedwater, feedwater line breaks, and steam line breaks. The IRWST provides the heat sink for the PRHR HX. The IRWST water absorbs decay heat for more than one hour before the water begins to boil. Once boiling starts, steam passes to the containment. The steam condenses on the steel containment vessel and, after collection, drains by gravity back into the IRWST. The PRHR HX and the passive containment cooling system provide indefinite decay heat removal capability with no operator action required.

Passive Containment Cooling System

The passive containment cooling system (PCS), provides the safety-related ultimate heat sink for the plant. The PCS cools the containment following an accident so that design pressure is not exceeded and pressure is rapidly reduced. The steel containment vessel provides the heat transfer surface that removes heat from inside the containment and transfers it to the atmosphere. Heat is removed from the containment vessel by the continuous, natural circulation of air. During an accident, air cooling is supplemented by water evaporation. The water drains by gravity from a tank located on top of the containment shield building. With normal PCS air cooling, the containment stays well below the predicted failure pressure.

Long-Term Accident Mitigation

A major safety advantage of passive plants versus conventional PWRs is that long-term accident mitigation is maintained without operator action and without reliance on offsite or onsite AC power sources. The passive safety systems provide long-term core cooling and decay heat removal without the need for operator actions and without reliance on active safety-related systems. For limiting design basis accidents, the core coolant inventory in the containment for recirculation cooling and boration of the core is sufficient to last for at least 30 days, even if inventory is lost at the design basis containment leak rate.

Source: Westinghouse AP 1000 Advanced Passive Plant, by W.E. Cummins of WEC, R. Mayson of BNFL

GOBIERNO DE CHILE
COMISION NACIONAL DE ENERGÍA

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGIA

ESTUDIO DE OPCIONES DE CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

INFORME FINAL

1	**03/07/09**	**Aprobado**	**ADB/MC**	**ADB**	**ADB**		
0	**05/11/09**	**Aprobado**	**ADB/MC**	**ADB**	**ADB**		
C	**24/04/09**	**Para Aprobación CNE**	**ADB/MC**	**ADB**	**ADB**		
B	**20/04/09**	**Para Aprobación CNE**	**ADB/MC**	**ADB**	**ADB**		
A	**14/04/09**	**Para Revisión Interna**	**ADB/MC**	**ADB**	**ADB**		
Versión	*Fecha*	*Emitido para*	*Preparó*	*Revisó*	*AMEC*	*Cliente*	*Cliente*
P-2560 Nº DE PROYECTO		amec AMEC-Cade	**2560 - INF - 000 - 004** N° AMEC-Cade				

Este documento ha sido preparado exclusivamente para la COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA por AMEC - CADE Ingeniería y Desarrollo de Proyectos Ltda. en conjunto con AMEC NUCLEAR UK. La calidad de la información, conclusiones y estimaciones contenidas en él es consistente con el nivel de esfuerzo incorporado en los servicios de AMEC y basadas en: i) La información disponible en el momento de su preparación; ii) Los datos suministrados por fuentes externas; y iii) Los supuestos, condiciones y clarificaciones expresadas en el documento.

Este documento es una creación de la empresa AMEC - CADE Ingeniería y Desarrollo de Proyectos Ltda. en conjunto con AMEC NUCLEAR UK, su contenido está amparado por la ley 17.336, pudiendo utilizarse sólo para los fines del servicio de Estudio de Ciclo de Combustible Nuclear según Convenio de Prestación de Servicios Profesionales del día 15 de Diciembre de 2008.

I N D I C E

ITEM	CONTENIDO	PAGINA
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Contexto y objetivos	1
1.2	AMEC plc y equipo de trabajo	2
1.3	Organización del Informe	5
2.	TIPOS Y TAMAÑOS DE LAS PLANTAS NUCLEARES	7
2.1	Características generales de las the Plantas Nucleares	7
2.2	Comparasión de los diferentes tipos de Plantas Nucleares	12
2.3	Capacidad sísmica de los diseños	14
3.	CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR	17
3.1	Ciclo de Combustible Abierto	17
3.1.1	Revisión de la práctica mundial	17
3.1.2	Racks de almacenamiento de alta densidad	19
3.1.3	Almacenamiento en contenedores secos	21
3.2	Ciclo de Combustible Cerrado	23
3.2.1	Revisión de la práctica mundial	23
3.2.2	Tecnologías de Reprocesamiento	25
3.2.3	Gestión del Plutonio	27
3.3	El ciclo del combustible Torio	28
3.3.1	Perspectiva general del ciclo de combustible Torio	28
3.3.2	El ciclo abiero del Torio	31
3.3.3	El ciclo cerrado del Torio	32
4.	TENDENCIAS FUTURAS E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	35
4.1	Revisión de la práctica mundial	35
4.2	Foro Internacional de generación IV (Generation IV International Forum)	38
4.2.1	Objetivos y Membrecía	38
4.2.2	Tecnología de Reproceso ‘Advanced Aqueous’	39
4.3	Diseños de combustibles que han solicitado la USNRC Design Certification	41
4.3.1	AP 1000	42
4.3.2	ESBWR	42
4.3.3	US EPR	43
4.3.4	US APWR	43
4.3.5	Combustible Anular	43

5. ANÁLISIS CRITICO 45
5.1 Estado de fósiles y renovables 45
5.1.1 Carbón 45
5.1.2 Energía eólica 46
5.2 Comparación económica 47
5.2.1 Comparación de costo de combustibles nucleares y fósiles 47
5.2.2 Costos del Front End del ciclo de combustible nuclear 51
5.2.3 Costos del Back End del ciclo de combustible nuclear 52
5.3 Impacto Ambiental 53
5.3.1 Comparación de las emisiones de carbón de combustibles nucleares y fósiles 53
5.3.2 Costos externos de las tecnologías nuclear, fosil y renovables 54
6. DIFERENTES OPCIONES PARA ADQUIRIR COMBUSTIBLE NUCLEAR 57
6.1 Riesgo del suminitro de combustible 57
6.1.1 Revisión de la práctica mundial 57
6.2 Estrategías de suministros 58
6.3 Comparación con Carbón, Derivados del Petróleo y Gas Natural 59
7. INFRAESTRUCTURA DE GESTIÓN 64
7.1 Explotación minera y Yellowcake 64
7.2 Adquisición del servicio de conversión 66
7.3 Adquisición del servicio de enriquecimiento 68
7.4 Adquisición del servicio de producción de arreglos de pellet cerámicos de combustible 70
7.5 Control Estadísticos de Proceso 74
7.6 Gestión de Desechos de Alto Nivel 74
7.6.1 Vitrificación 74
7.6.2 Almacenamiento de Combustible Usado 76
7.7 Gestión de Repositorios 76
7.7.1 Guía Internacional 76
7.7.2 Un programa de desarrollo de un repositorio 77
7.7.3 Diseño del repositorio y el ciclo de combustible 79
7.7.4 Condiciones geológicas 83
7.7.5 Evaluación de seguridad 84
7.7.6 Repositorios internacionales 85
8. ASPECTOS LEGALES 86
8.1 La incorporación de los Tratados Internacionales en Chile 86
8.2 Tratados e Instrumentos Internacionales 87

8.2.1 Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica 88
8.2.2 Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina (Tratado de Tlatelolco) 89
8.2.3 Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) 91
8.2.4 Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN) 96
8.2.5 Acuerdo entre el Gobierno de Chile y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en relación con el Tratado de Tlatelolco 99
8.2.6 Protocolo Adicional al Acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en relación con el Tratado de Tlatelolco 101
8.3 Situación actual en nuestro país 102
8.4 Alianza Mundial para la Energía Nuclear o Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) 103
8.5 Consideraciones respecto al Ciclo del Combustible Nuclear (CCN) 105
8.5.1 Etapa previa o Front End 105
8.5.2 Etapa posterior o Back End 107
8.5.3 Controles de exportación e importación 111
8.6 Conclusiones 112
9. CAPACIDAD PARA IMPLEMENTAR PARTES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR EN CHILE 114
9.1 Antecedentes 114
9.2 Consideraciones 115
9.2.1 Participación activa del Estado en el Programa de Energía Nuclear 115
9.2.2 Definiciones sobre el Ciclo de Combustible 117
9.2.3 Alternativas de ciclo de combustible 118
9.2.4 Capacidad de la CCHEN para integrarse a un Programa Nuclear 120
9.2.5 Necesidad de preparar personal 121
9.2.6 Integración internacional 123
10. CONCLUSIONES 124
11. ANEXO A: TIPOS Y TAMAÑOS DE PLANTAS NUCLEARES 128
11.1 SNUPPS 128
11.1.1 Isla Nuclear 128
11.1.2 Características de seguridad de ingeniería y control 130
11.1.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 130
11.1.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos 131
11.2 AP 1000 136
11.2.1 Isla Nuclear 136
11.2.2 Características de seguridad de ingeniería y control 140

11.2.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 140
11.2.4 Sistemas para el Tratamiento de Desechos Radioactivos 141
11.3 EPR 145
11.3.1 Isla Nuclear 145
11.3.2 Características de seguridad de ingeniería y control 149
11.3.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 151
11.3.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos 151
11.4 GE-H ESBWR 153
11.4.1 Isla Nuclear 153
11.4.2 Características de seguridad de ingeniería y control 154
11.4.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 155
11.4.4 Sistemas para el Tratamiento de Desechos Radioactivos 155
11.5 AECL CANDU-6 158
11.5.1 Isla Nuclear 158
11.5.2 Características de seguridad de ingeniería y control 160
11.5.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 161
11.5.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos 161
11.6 VVER-1000 164
11.6.1 Isla Nuclear 164
11.6.2 Características de Seguridad de Ingeniería y Control 166
11.6.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 167
11.6.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos 168
11.7 Korean AP-1400 171
11.7.1 Isla Nuclear 171
11.7.2 Características de seguridad de ingeniería y control 173
11.7.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 174
11.7.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos 174
11.8 MHI APWR 177
11.8.1 Isla Nuclear 177
11.8.2 Características de seguridad de ingeniería y control 180
11.8.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado 181
11.8.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos 181
12. ANEXO B: TRATADOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR CHILE 185
13. ANEXO C: MINUTAS DE REUNIÓN 194
14. ANEXO D: BIBLIOGRAFÍA 232
14.1 Bibliografía referente al ciclo de combustible nuclear 232
14.2 Bibliografía referente a la legislación aplicable al ciclo de combustible nuclear 236

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto y objetivos

El Gobierno actual ha tomado el compromiso de no tomar decisiones con respecto a la iniciación de un desarrollo núcleo-eléctrico en el país, pero ha tenido la voluntad de iniciar estudios que reúnan los antecedentes necesarios para que el próximo gobierno pueda tomar decisiones bien fundadas acerca de la conveniencia o no de incluir a largo plazo la opción nuclear dentro de la matriz energética del país. Esta estrategia está en línea con las "mejores prácticas" recomendadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA o IAEA por sus siglas en inglés) para que un país pueda decidir si la opción núcleo-eléctrica es o no viable en la matriz energética del país.

Es así como en el año 2007, el Gobierno conformó un Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad cuyo producto (Septiembre 2007) fue el informe "La Opción Núcleo-Eléctrica en Chile" Septiembre 2007. En él se establecen tres criterios para evaluar la incorporación de la energía núcleo-eléctrica en el país:

a) Chile debe mantener abiertas todas las opciones energéticas. La energía nuclear no es una opción a descartar, y podría cooperar a la seguridad del suministro eléctrico;
b) La energía nuclear es una opción confiable, por los niveles de seguridad que ha alcanzado su industria, pero exige preocupación, disciplina y rigor permanentes; y
c) La experiencia internacional muestra a la energía nuclear como una opción competitiva, especialmente ante los actuales precios de los combustibles fósiles en los mercados internacionales.

Entre las medidas recomendadas por el Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad para avanzar en la discusión del problema, se destaca la realización de estudios en los ámbitos institucionales, económicos, ambientales y territoriales, salud, recursos humanos, y opinión pública, entre otros.

El presente Informe se deriva de la necesidad de realizar el estudio recomendado por el Grupo de Trabajo en Núcleo-Electricidad y la Comisión Chilena de Energía Nuclear sobre las implicancias que tendrían para el país el adoptar alguno de los ciclos de combustible nuclear asociados a la tecnología del tipo de reactor adoptado para un eventual desarrollo núcleo-eléctrico en Chile.

De esta forma, el objetivo solicitado para el Estudio corresponde a:

Objetivos del Estudio

A partir de un análisis estratégico de los ciclos de combustibles nucleares y de las tendencias e iniciativas que para el desarrollo de ellos hay en el mundo, identificar las oportunidades, desafíos y riesgos para Chile que plantean las diferentes opciones de ciclos de combustible nuclear en la implementación y operación sustentable de un eventual programa núcleo-eléctrico chileno en sus aspectos tecnológicos, económicos, comerciales, ambientales e internacionales.

Objetivos específicos

Los objetivos del estudio se focalizarán sobre los aspectos tecnológicos, económicos, comerciales, ambientales e internacionales de los Ciclos de Combustible Nuclear ya sean estos Abiertos (sin reprocesamiento), Cerrados (con reprocesamiento), avanzados u otros que recomiende el Consultor, que están siendo utilizados en plantas nucleares con reactores nucleares de potencia convencionales y evolutivos, y aquellos reactores considerados como innovadores. Por ejemplo, pero no por ello limitados a éstos; son de interés los Ciclos:

(a) Uranio natural – Plutonio;
(b) Uranio enriquecido en el isótopo ^{235}U – Plutonio;
(c) ^{232}Torio – ^{233}Uranio.

El presente Informe Final presenta el resultado del trabajo de este Estudio, incluyendo toda la información recopilada por AMEC-CADE.

1.2 AMEC plc y equipo de trabajo

AMEC-CADE inició sus actividades en 1959. Desde aquella época ha seguido una trayectoria de permanente crecimiento, integrando en forma paulatina y a jornada completa dentro de la empresa, a los diferentes especialistas que los proyectos necesitan, permitiendo así la adecuada coordinación entre ellos, indispensable para optimizar el trabajo en conjunto.

La favorable recepción que encontraron sus servicios en el mercado llevó a la firma a desarrollarse tanto en volumen de personal como en el número de campos de especialización cubiertos. Ello le permitió tener una activa participación en la mayoría de los grandes proyectos, que se han llevado a cabo en el país durante el transcurso de estos últimos cincuenta años. Hoy día, con más de 600 personas entre profesionales, técnicos y personal administrativo y de servicio, una adecuada infraestructura propia e instrumentos de tecnología de información de punta, está a la cabeza de las empresas de Ingeniería de Chile, que se encargan del desarrollo de Estudios y Proyectos.

Recientemente, el esfuerzo desarrollado por AMEC-CADE por brindar calidad de servicio, ha culminado con la obtención de dos galardones particularmente significativos:

- La Certificación ISO 9001:2000 para los Servicios de Ingeniería por la empresa Det Norske Veritas, y

- El Certificado de Antecedentes, otorgado por la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería de Chile A.G.

Dentro del desarrollo de AMEC-CADE y de sus filiales se ha considerado como hipótesis fundamental el que su labor no puede tener otro objetivo que no sea el de crear valor para sus clientes, aportando el máximo esfuerzo para que el trabajo encargado sea el más conveniente para ellos, tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista económico-financiero.

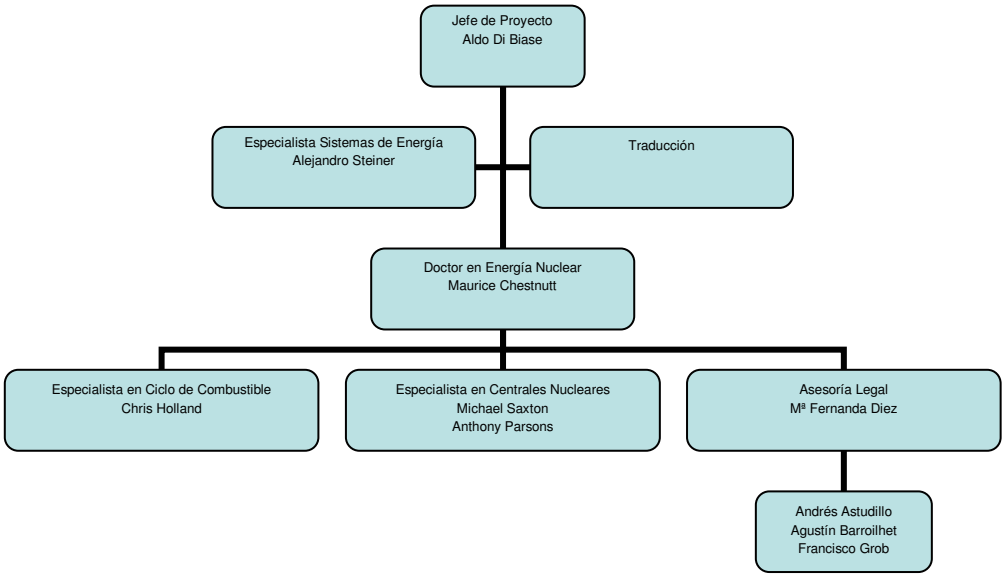
AMEC-CADE pertenece a la empresa internacional con base en Inglaterra AMEC plc, con presencia a nivel mundial. AMEC plc está dividida en tres áreas principales:

- Recursos Naturales
- Procesos y Energía
- Tierra y Medioambiente

Dentro del área de Procesos y Energía existe la División de Energía Nuclear con presencia tanto en Europa como en Norte América. La División Nuclear de Londres desarrolla gran parte del trabajo asociado a este Estudio, reservándose para AMEC-CADE en Chile las labores de coordinación con la CNE y otras instituciones nacionales, así como las actividades que, por su propia naturaleza, resulta más eficientes realizarlas por personal nacional.

A continuación se presenta el organigrama funcional que se aplicó en el proyecto.

Figura 1 Organización para el estudio



De esta forma, el equipo profesional que efectivamente participó en el desarrollar este Estudio se compone de las personas indicadas más abajo.

Tabla 1 Equipo de trabajo

NOMBRE	PROFESION	CARGO
Aldo Di Biase	Ingeniero Civil Eléctrico	Jefe de Proyecto
Alejandro Steiner	Dr. en Ingeniería	Especialista en sistemas de energía
Maurice Chestnutt	Dr. Ingeniería Nuclear	Especialista en Plantas Nucleares
Chris Holland	Msc Física y Tecnología Reactores Nucleares	Ingeniero Reactores Nucleares
Michael Saxton	Ingeniero Mecánico	Especialista Plantas Nucleares
Anthony Parsons	Ingeniero Eléctrico	Especialista Industria Nuclear
Ma. Fernanda Diez	Abogado	Coordinación Legislación
Andrés Astudillo	Abogado	Analista Legislación
Agustín Barroilhet	Abogado	Analista Legislación
Francisco Grob	Egresado de Derecho	Analista Legislación

1.3 Organización del Informe

El presente Informe está dividido en nueve capítulos, incluyendo esta Introducción.

El capítulo dos describe las características más relevantes de las centrales nucleares actuales. En el Anexo A se detallan las centrales disponibles comercialmente, y que corresponden a:

- SNUPPS
- AP 1000
- EPR
- GE-H-ESBWR
- AECL CANDU-6
- VVER-1000
- Korean AP 1400
- MHI APWR

El capítulo tres describe los diferentes ciclos de combustible: abierto y cerrado. Además, describe el ciclo del torio, comparándolo con el del uranio. El capítulo 4 describe las tendencias e innovaciones para las centrales (desde una perspectiva del combustible), describiendo también el Generation IV Internacional Forum, que corresponde a un intento de los países con mayor desarrollo nuclear para garantizar el suministro del combustible.

El capítulo quinto realiza un análisis crítico del ciclo de combustible nuclear, al compararlo con otras fuentes: combustibles fósiles y energía eólica. Esta comparación se realiza tanto desde la perspectiva económica como ambiental.

El capítulo seis describe las diferentes opciones para adquirir el combustible nuclear, realizando una comparación con el caso de otros combustibles (carbón, derivados del petróleo y gas natural). El capítulo siete describe la infraestructura requerida para cada una de las etapas del ciclo indicando (para los casos en que es relevante) la capacidad mundial instalada.

El capítulo octavo describe algunos aspectos legales que deben ser considerados en Chile, desde la perspectiva del ciclo de combustible de una futura central nuclear. El capítulo noveno identifica algunas consideraciones que deben tenerse en consideración si se decide implementar parte del ciclo en nuestro país.

Por otra parte, se ha preparado un documento especial, que corresponde al Resumen Ejecutivo del Estudio realizado. Dicho Resumen Ejecutivo ha sido preparado de forma tal que para su comprensión no es necesario tener a la vista el presente Informe, ni las referencias que en él existen.

2. TIPOS Y TAMAÑOS DE LAS PLANTAS NUCLEARES

2.1 Características generales de las the Plantas Nucleares

Esta sección proporciona un breve esbozo de los tipos y tamaños de plantas núcleo-eléctricas ya sea que operan alrededor del mundo o que están comercialmente disponibles para su construcción.

Sólo se consideran los diseños de plantas nucleares con reactor de agua ya que éstas tienden a ser la mayoría de las plantas nucleares de potencia en el mundo. Una planta núcleo-eléctrica se diferencia de una planta de potencia convencional sólo en el método usado para proveer el vapor para mover la turbina y el generador. En una planta nuclear el vapor se proporciona por el así llamado Nuclear Steam Supply System (NSSS). Existen tres tipos de reactores de agua de uso común:

- Boiling Water Reactor (BWR)
- Pressurised Water reactor (PWR)
- Pressurised Heavy Water Reactor (PHWR) tipificado como reactor CANadian Deuterium natural Uranium (CANDU)

El BWR (Figura 2) es el concepto más simple con un sistema de ciclo directo; con el agua en el núcleo del reactor hirviendo en la parte superior del núcleo, y el vapor así producido pasa a través de un secador de baja presión antes de dejar la nave de presión del reactor y entrar a la turbina de vapor. Cualquier radioactividad producida en el núcleo por la activación de productos de corrosión en solución o en suspensión en el agua puede, consecuentemente, ser transportada y depositada en la turbina de vapor.

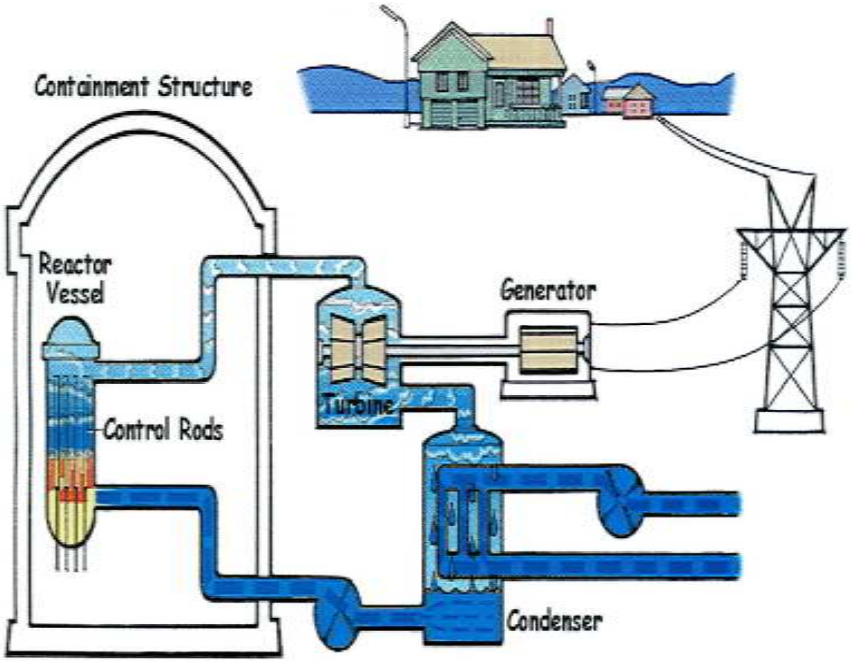


Figura 2 Visión general de un Boiling Water Reactor (BWR)

El PWR (Figura 3) (también conocido por la designación VVER, que representa al diseño ruso) usa generadores de vapor (intercambiadores de calor) para separar el agua de enfriamiento del núcleo del reactor del flujo de vapor a la turbina de vapor. El agua en el núcleo del reactor está bajo una presión mayor que el agua en el núcleo del BWR y, por tanto, se evita que hierva bajo la operación normal. El agua de 'circuito primario' es bombeada fuera del núcleo del reactor al generador de vapor donde el agua da su calor al hervir el agua en un 'circuito secundario'. El agua de este circuito secundario está a una presión más baja (típicamente la mitad de la presión del agua del circuito primario) de modo que puede hervir, y el vapor es bombeado hacia la turbina de vapor. El agua de este circuito secundario no pasa a través del núcleo del reactor y, en general, se mantiene no radiactiva, a menos que se produzca una pérdida en el circuito primario en el muro de separación en el generador de vapor.

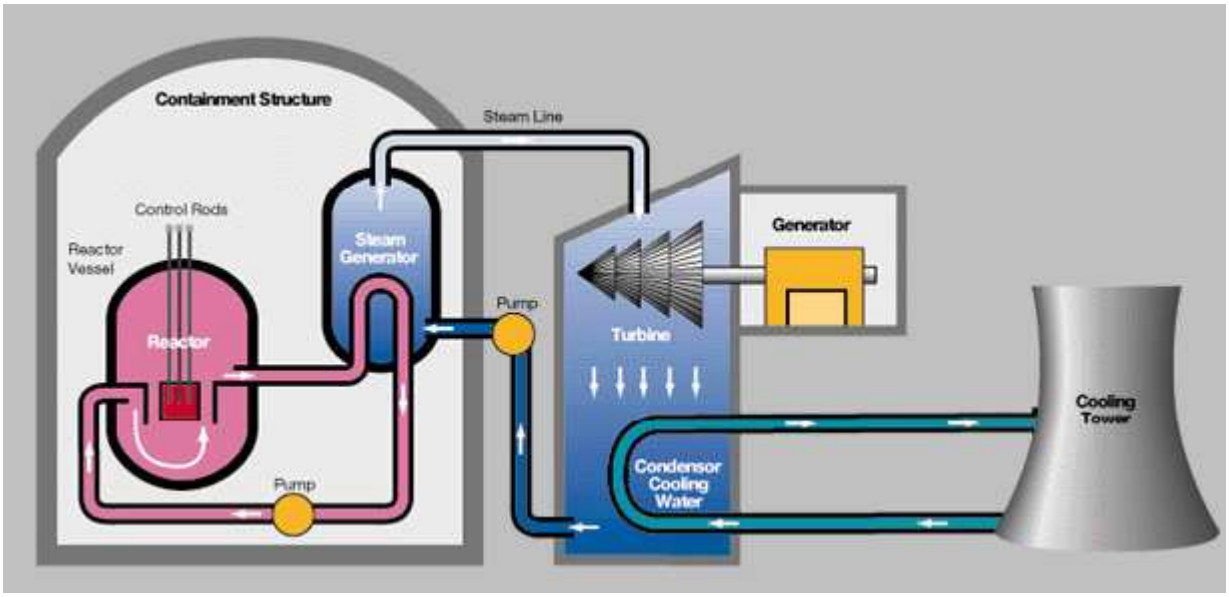


Figura 3 Visión general de un Pressurised Water Reactor (PWR)

Tanto el PWR/VVER como el BWR son reactores de recarga batch de combustible que usan combustible de uranio enriquecido. El combustible es enriquecido de modo de superar las propiedades de absorción de neutrones del agua liviana y de dar al combustible las propiedades requeridas para operar por un extenso período de tiempo. El reactor CANDU (Figura 4) es diferente de ellos dado que utiliza combustible de uranio natural (no enriquecido) y es continuamente recargado manteniendo la potencia total del reactor. Para el reactor CANDU el combustible está presente en los tubos de presión horizontales que pueden ser abiertos en cada extremo para insertar el nuevo combustible y sacar el combustible usado en el extremo opuesto. El agua de enfriamiento fluye a través de los tubos de presión en direcciones alternadas y entonces es bombeada a los generadores de vapor donde el agua en un circuito secundario hierve y es secada antes de pasar a la turbina de vapor. El reactor CANDU usa Heavy Water (óxido de deuterio o 'agua pesada') para el agua en el núcleo del reactor; esta forma de agua absorbe menos neutrones que el agua liviana y así se puede usar combustible no enriquecido.

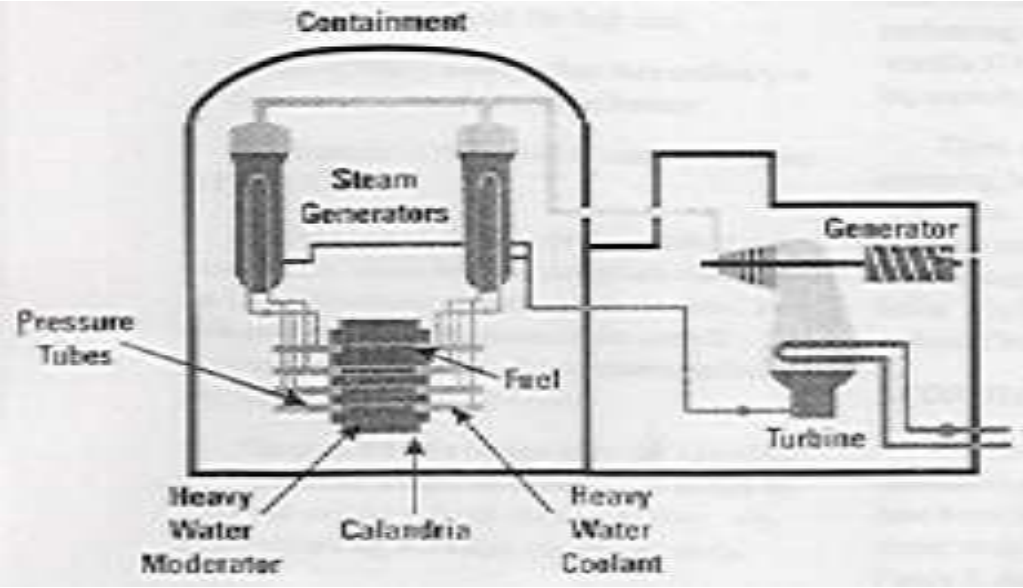


Figura 4 Visión general de un reactor CANDU

La mayoría de los reactores que operan alrededor del mundo son diseños de Generación II y Generación III.

A continuación se dan cinco ejemplos de planta Generation III+, pero ninguno de ellos ha comenzado a funcionar todavía, aunque algunos están actualmente en construcción, a saber:

- AREVA EPR: Se está construyendo en Olkiluoto 3 en Finlandia y Flamanville 3 en Francia; la construcción de dos unidades en Taishan en China está programada para comenzar más adelante este año y se ha planificado una unidad adicional en Penly en Francia para comenzar su construcción en el 2010.
- Westinghouse AP 1000: La construcción ha comenzado para dos unidades en Sanmen en China y se han planificado dos unidades adicionales en Haiyang también en China. En los Estados Unidos se ha firmado acuerdos para la construcción de dos unidades en los siguientes lugares:
  - Georgia Power's Vogtle.
  - South Carolina Electric and Gas' V C Summer.
  - Progress Energy's Levy en Florida.
  - NuStart's Bellefonte en Alabama.
  - Progress Energy's Harris en Carolina del Norte.
  - Duke Energy's Lee.

- General Electric – Hitachi ESBWR: La posición es incierta actualmente puesto que las ordenes colocadas en los Estados Unidos han sido posteriormente canceladas o cambiadas al ABWR.
- Korean AP1400: La construcción de Shin Kori 3 comenzó en Octubre del 2008 y Shin Kori 4 está programada para octubre del 2009. El comienzo de la construcción de Shin Ulchin 3 y 4 están programadas para el 2011 y 2012 respectivamente.
- Mitsubishi Heavy Industry APWR: El comienzo de la construcción en Japón de Tsuruga 3 y 4 está programada para el 2010 y Sendai 3 para el 2013. En los Estados Unidos, Luminant Corporation está planificando la construcción de dos unidades en Comanche Peak en Texas.

Los diseños de la nueva Generation III+ son muy similares en términos de seguridad y de impacto ambiental. Esto es porque han sido, o están siendo, diseñados para cumplir con European Utility Requirements (EUR) y/o con United States Advanced Light Water Reactor (ALWR) Utility Requirements Document (URD). Además, en Europa, Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) está promoviendo la armonización de los requerimientos regulatorios de seguridad. También en Europa existe un movimiento hacia la armonización de los límites de descarga al medio ambiente a través del Protocolo de Oslo y Paris (OSPAR) y los requerimientos bajo el Artículo 37 del Euratom Treaty por el cual todos los estados de la Comisión Europea requieren solicitar aprobación de los estados vecinos al impacto ambiental de una nueva planta nuclear de potencia previamente a comenzar su operación.

Sobre esta base, los diseños LWR están convergiendo con diferencias que se deben a puntos de partida – USA, Francia, Rusia. Como el reactor CANDU no es un Light Water Reactor (LWR – Reactor de Agua liviana) no hay requerimientos para los reactores CANDU en los EUR o URD.

Todos los diseños LWR son reactores de recarga batch, con paradas de recarga programadas cada 12, 18 ó 24 meses de operación. El reactor CANDU es diferente en que la recarga es durante la operación, y las paradas ocurren sólo para mantenciones planificadas, inspección o prueba de equipos. En este sentido, los reactores CANDU generalmente lideran la tabla de disponibilidad de rectores del mundo publicada por Nucleonics Week. A pesar de esto, el reactor CANDU no parece tener un costo nivelado menor para la generación de electricidad. **El reactor CANDU tiene una base instalada menor en todo el mundo y es dependiente del suministro de Agua Pesada en el mercado internacional o de la construcción y operación de una planta de producción de Agua Pesada**.

El tamaño de la base instalada es importante como un medio para compartir el costo de búsqueda de las soluciones a los problemas 'genéricos' en el diseño, u operación de la planta. Todos los proveedores operan un nuevo grupo de dueños, a saber:

- WOG - Westinghouse Owners' Group
- FROG - Framatome (now AREVA) Owners' Group
- COG - CANDU Owners' Group
- FUG - Westinghouse's Fuel Users' Group

Estos grupos administran y comparten los costos de programas para encontrar soluciones que son comunes a todos los dueños o usuarios. Entre más grande es el grupo de miembros, menor es el costo por participante.

Al seleccionar un diseño para una nueva planta de potencia nuclear los siguientes requerimientos incluyen:

- **Un diseño altamente fiable que signifique costos de operación más bajos.**
- **Paradas cortas para mantención y recarga.**
- **Bajos costos de capital y operaciones.**
- **Bajas dosis de radiación a los operadores y al público durante la operación.**
- **Ausencia de características novedosas (no probadas) en el diseño.**

2.2 Comparasión de los diferentes tipos de Plantas Nucleares

Las tablas siguientes comparan las diferentes plantas nucleares, que son descritas en el Anexo A.

Tabla 2 Diseños del núcleo del Reactor

Reactor	Nº de arreglos de combustible en el núcleo del Reactor	Salida Térmica (MW)
SNUPPS	193	3425
CANDU-6	380 x 12	600 (eléctrica)
VVER-1000 (V-320)	163 (hexagonal)	1000 (eléctrica)
AP1000	157	3415
EPR	241	4500
ESBWR	1132	1535 (eléctrica)
APR1400	241	3983
APWR	257	4450

Las tres tablas siguientes comparan las descargas anuales líquidas y gaseosas y los desechos sólidos generados.

Tabla 3 Descargas Líquidas Anuales

Reactor	Tritio	Otras β,γ *
SNUPPS	39.3 TBq	24.4 GBq
CANDU-6	246 TBq	5.4 GBq
VVER-1000 (V-320)	20 KBq	0.5 GBq
AP1000	37 TBq	9.5 GBq
EPR	52 TBq	0.6 GBq
ESBWR	518 GBq	No disponible (n/a)
APR1400	n/a	n/a
APWR	n/a	n/a

* Excluyendo carbón-14

Tabla 4 Descargas gaseosas Anuales

Reactor	Tritio	Gases Nobles	I-131	C-14	Otras β,γ*
SNUPPS	673 GBq	7.5 TBq	0.11 GBq	79.1 GBq	0.01 GBq
CANDU-6	200 TBq	n/a	n/a	520 GBq	n/a
VVER-1000 (V-320)	n/a	750 GBq	0.93 GBq♠	n/a	n/a
AP1000	13 TBq	407 TBq	4.44 GBq	270 GBq	1.74 GBq
EPR	500 GBq	800 GBq	n/a	350 GBq	n/a
ESBWR	2.8 TBq	n/a	n/a	530 GBq	n/a
APR1400	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
APWR	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

* Excluyendo carbón -14

♠ Todos los radio-yodos

Tabla 5 Desechos sólidos generados anuales

Reactor	Desechos secos activos	intercambio iónico de resina + Concentrados Químicos
SNUPPS	180 m^3	50 m^3
CANDU-6	39 m^3	
VVER-1000 (V- 320)	100 m^3	
AP1000	40.1 m^3	14.4 m^3 ♠
EPR	80 m^3	
ESBWR	363 m^3	111 m^3
APR1400	n/a	
APWR	n/a	

♠ Incluyendo carbón activado

De las tablas anteriores puede observarse que no hay un diseño claramente superior a los otros. Luego, para identificar el diseño preferido, se requiere evaluar la importancia relativa de los diferentes tipos de descargas radioactivas y de volumen de desechos sólidos.

2.3 Capacidad sísmica de los diseños

Es claro que las plantas nucleares alrededor del mundo han sido objeto de eventos sísmicos [34]. En Japón algunas de las plantas nucleares han sido diseñadas para soportar terremotos de magnitud 8.5 en la escala de Richter. Recientemente la planta Kashiwazaki-Kariwa fue objeto de un evento sísmico siendo sometida a una serie de inspecciones de la OIEA; el único evento radiológico en la plata fue el derrame de agua de la Piscina de Combustible Usado [35]. Atomstroyexport usa una Base de Diseño de magnitud 9 en la escala de Richter para el diseño de algunas plantas y ha sido usado para la planta nuclear que está siendo completada en Bushehr en Irán. En diciembre de 2005 la planta de potencia Diablo Canyon en California, EE.UU., experimentó un terremoto de magnitud 6.5, pero no fue suficientemente fuerte para activar los actuadores sísmicos en la planta y la inspección subsiguiente de la planta tanto por los empleados de la planta como por el regulador nuclear, USNR, no revelaron ningún defecto. Un evento de magnitud 7.0 en la escala de Richter en Japón en 2003 sí activó los actuadores automáticos en Onagawa-3, con apagado de seguridad y las inspecciones subsiguientes al evento no revelaron ningún evento.

El uso de la escala de Richter como medida de la capacidad de las plantas nucleares para soportar eventos sísmicos entrega una medida general de la capacidad de la planta, sin embargo, para diseñadores y evaluadores se requiere una medida más fina. La escala de Richter es una medida de la energía global liberada durante un evento sísmico; su efecto en una estructura en la superficie es una función de esto y de una cantidad de otros factores (por ejemplo, profundidad del terremoto, condiciones locales del terreno, atenuación del suelo, interacción suelo-estructura, etc.). Las estructuras son efectivamente diseñadas contra cargas sísmicas definidas en aceleraciones máximas del terreno horizontal y una respuesta espectral al sismo basada en las condiciones locales del terreno.

En los EE.UU., las plantas nuevas están siendo diseñadas en concordancia con las EPRI Advanced Light Water Guidelines [36] que definen un conjunto 'estándar' de requerimientos de diseños sísmicos que están orientados a cubrir la mayoría de los sitios potenciales de plantas nucleares en el país. Esto representa un equilibrio entre la cobertura del máximo de sitios potenciales para plantas nucleares y el costo de una planta 'estándar'. EPRI requiere que, para un Apagado Seguro ante un Terremoto (Safe Shutdown Earthquake, SSE) las cargas sísmicas deben basarse en el espectro definido anclado en 0.3g PGA. Un Margen Sísmico ante un Terremoto (Seismic Margin Earthquake) es, entonces, definido como 1.667 veces el SSE, dando un SME PGA de 0.5g. Por supuesto, antes que estos niveles sean aceptados para el diseño en un sitio seleccionado, una evaluación específica de riesgo sísmico debe ser desarrollada ya sea para justificar el uso del genérico 0.3g PGA o para justificar otro, mayor, SSE. En cualquier caso, el SME será entonces definido como 1.667 veces el nivel SSE.

En Europa un enfoque similar está adoptado, como se ha reflejado en el European Utility Requirements Document (EURD) [37, 38]. Sin embargo, en este caso, el SSE PGA es definido como 0.25g reflejando la, generalmente, menor sismicidad a través de la mayoría de Europa Occidental. Nuevamente, es indicado que una evaluación específica de riesgo sísmico será requerida para confirmar la aplicabilidad de los niveles especificados en la EURD.

En Japón, que es conocida como un área de actividad sísmica, el concepto de una Base de Diseño para Movimiento de Terrenos por Terremotos única (Design Basis Earthquake Ground Motion, DBGM Ss) fue introducido en 2006 [39]. El requerimiento es que las instalaciones principales del reactor deben mantener sus funciones de seguridad bajo las cargas resultantes de las DBGM Ss. También, las instalaciones principales y auxiliares deben soportar las cargas resultantes del Diseño de Elasticidad Dinámica por Movimiento de Terrenos por Terremotos (Elastically Dynamic Design Earthquake Ground Motion, EDGM Sd) que debe ser al menos la mitad del nivel Ss. El reciente terremoto de Niigata Chuetsu Oke resultó en movimientos del terreno particularmente más grandes (sobre 0.85g) que el máximo asumido en el diseño (0.28g) en las cercanías de la Kashiwazaki-Kariwa NPP y,

aunque hubo daño significativo, el reactor principal y la unidad de la turbina no fueron estructuralmente afectados y todo el sistema de apagado y enfriamiento funcionó como fue diseñado. La nueva evaluación específica de riesgo sísmico ha sido completada recientemente para el sitio, resultando en un nuevo DBGM de 2.33g para plantas futuras. Un programa de trabajo está siendo actualmente implementado para mejorar todas las unidades para que sean capaces de soportar un terremoto de 1.02g PGA.

Es claro que las plantas nucleares de potencia pueden y han sido satisfactoriamente diseñadas e implementadas para eventos sísmicos relativamente altos, sujetas a las apropiadas evaluaciones de riesgos sísmicos específicos del lugar; es improbable que las consideraciones sísmicas dificulten la implementación satisfactoria de un programa nuclear en Chile.

3. CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

3.1 Ciclo de Combustible Abierto

3.1.1 Revisión de la práctica mundial

La mayoría de los países en todo el mundo (ver tabla 6) [39] operan el ciclo de combustible de una etapa (conocido como el ciclo abierto del combustible - Figura 5) en el cual el combustible nuevo es fabricado de uranio sacado directamente de las minas y el combustible usado de la operación del reactor se ubica en la piscina de combustible usado para 'enfriamiento' y el decaimiento radioactivo previa a su encapsulación y ubicación en un depósito. **Las tecnologías para el almacenaje del combustible usado, tanto seco como húmedo están bien desarrolladas y son comercialmente disponibles**.

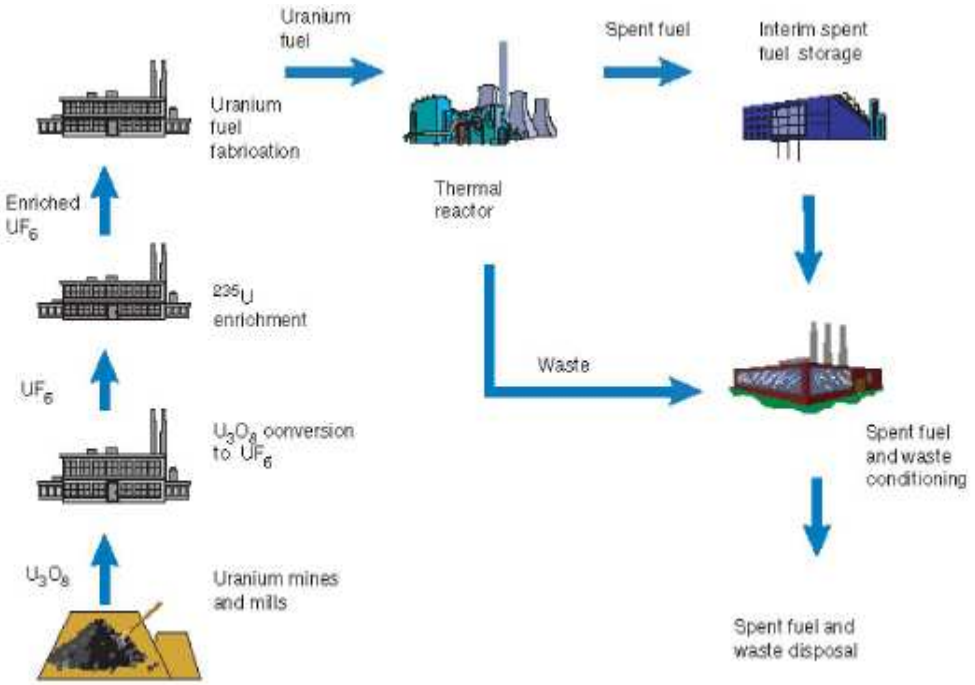


Figura 5 Ciclo de Combustible Abierto
Fuente: OIEA

La India hasta hace poco ha operado un ciclo abierto de torio. La India no ha firmado el Tratado de No Proliferación (Non Proliferation Treaty) y por lo tanto fue excluida del mercado de materiales nucleares en todo el mundo incluyendo el procesamiento de uranio, y la

producción de combustible doméstico basado en torio fue insuficiente para cumplir los requerimientos de operación de todas sus plantas nucleares de potencia. La India recientemente firmó el acuerdo '1-2-3' con USA, Francia, Reino Unido y Rusia que le permite participar en el mercado de las instalaciones productivas y por lo tanto comprar uranio en el mercado mundial abierto.

Tabla 6 Países y sus Ciclos de Combustible Nuclear

País	Ciclos de Combustible Nuclear
Argentina	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Armenia	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Bélgica	Ciclo de Combustible Abierto y Cerrado basado en uranio / plutonio
Brasil	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Bulgaria	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio, pero con algunos combustibles usados enviados a Rusia para reprocesamiento sin retorno
Canadá	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
China	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio, pero actualmente está construyendo una planta de reprocesamiento en Lanzhou
Republica Checa	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Finlandia	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Francia	Ciclo de Combustible Cerrado basado en uranio / plutonio
Alemania	Ciclo de Combustible Abierto y Cerrado basado en uranio / plutonio
Hungría	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio, pero con algunos combustibles usados enviados a Rusia para reprocesamiento sin retorno
India	Ciclo de Combustible Cerrado con plantas de reprocesamiento en Tarapur y Kalpakkam
Japón	Ciclo de Combustible Cerrado con reprocesamiento en Tokai y Rokkasho-mura y contactos en el extranjero con el Reino Unido y Francia
Republica de Corea	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Lituania	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
México	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Holanda	Ciclo de Combustible Cerrado basado en uranio / plutonio con reprocesamiento en el Reino Unido y Francia

País	Ciclos de Combustible Nuclear
Pakistán	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Rumania	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Federación Rusa	Ciclo de Combustible Cerrado con reprocesamiento en Chelyabinsk y Krasnoyarsk (construcción pospuesta)
Eslovaquia	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Eslovenia	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Sudáfrica	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
España	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio
Suecia	Actualmente con Ciclo Abierto, pero reproceso combustible en el Reino Unido en los 80’
Suiza	Ciclo de Combustible Abierto y Cerrado basado en uranio / plutonio
Ucrania	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio, pero con algunos combustibles usados enviados a Rusia para reprocesamiento sin retorno
Reino Unido	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio, pero con algo de reprocesamiento en el Reino Unido sin reciclarlo
EE.UU.	Ciclo de Combustible Abierto basado en uranio

De los 30 países listados en la tabla, 22 operan el ciclo de combustible abierto, 5 operan un ciclo de combustible cerrado y 3 operan ambos ciclos de combustible, ciclo cerrado y ciclo abierto. El enfoque preferido corresponde a un ciclo de combustible abierto con los servicios del ciclo de combustible nuclear obtenidos en el mercado abierto de todo el mundo. Los países operan el ciclo de combustible abierto, contemplan todos los valores del GDP y por lo tanto, de desarrollo económico, desde México y Lituania a Estados Unidos. Tampoco la geografía parece importar en esta decisión con Norte América (Canadá y Estados Unidos) y Sudamérica (Argentina y Brasil) operando el ciclo de combustible abierto.

3.1.2 Racks de almacenamiento de alta densidad

En algunos países que operan el ciclo abierto de combustible, la capacidad de las Piscinas de Almacenamiento de Combustible (Fuel Storage Pool) ha sido diseñada de modo que sea capaz de almacenar húmedo todo el combustible usado producido durante el tiempo de operación de la planta nuclear de potencia. En otros países que operan el ciclo de combustible abierto en una piscina de almacenaje central se ha desarrollado para acomodar el combustible cuando la Piscinas de Almacenamiento de Combustible en la planta nuclear

se aproxima a su capacidad de diseño. Holtec indica que su "tecnología de ultra-alta densidad de rack de almacenaje se ha duplicado, triplicado y aún quintuplicado en la capacidad de almacenaje in-pool (húmedo) en la mayoría de las piscinas de combustible; sobre el 80% de todo el combustible usado producido en Estados Unidos, Corea y Taiwán es almacenado en equipos suministrados por Holtec de almacenamiento húmedo de ultra-alta densidad."

De los 30 países listados en la tabla 7, 25 operan con almacenamiento bajo el agua, ya sea en el sitio de la planta nuclear o en instalaciones fuera del emplazamiento. Además 13 de estos 25 sacan el combustible de los almacenamientos húmedos y lo ubican en una instalación de almacenamiento seco, detalles de esto se proporcionan en la próxima sección.

Tabla 7 Países y sus opciones de disposición del combustible gastado

País	Almacenamiento bajo el agua		Almacenamiento seco	Reproceso	Reciclaje con MOX
	AR	AFR			
Argentina	✓		✓		
Armenia	✓		✓		
Bélgica	✓		✓		
Brasil	✓				
Bulgaria	✓		(✓)		
Canadá	✓		✓		
China	✓	(✓)			
Republica Checa	✓		✓		
Finlandia	✓				
Francia				✓	✓
Alemania	✓	✓			
Hurgaría	✓		✓		
India				✓	
Japón				✓	✓
Republica de corea	✓	(✓)			
Lituania	✓		✓		
México	✓				
Holanda				✓	
Pakistán	✓				
Rumania	✓		✓		
Federación				✓	

País	Almacenamiento bajo el agua		Almacenamiento seco	Reproceso	Reciclaje con MOX
Rusa					
Eslovaquia	✓		✓		
Eslovenia	✓				
Sudáfrica	✓				
España	✓				
Suecia	✓	✓			
Suiza	✓		✓	✓	✓
Ucrania	✓		✓	✓	
Reino Unido ♣	✓				
EE.UU.	✓		✓		

♣ LWR solamente
(✓) En desarrollo

De los 7 países que reprocesan el combustible usado, 4 no reciclan el plutonio: Holanda, Ucrania, India y la Federación Rusa. Aquellos que reciclan el combustible como MOX (mixed oxide fuel) son Francia y Japón con Suiza, y reciclan sólo algunos de sus combustibles usados.

La economía del reprocesamiento depende del precio del uranio en el mercado mundial. Si el precio del uranio es bajo entonces se vuelve más costo-efectivo comprar uranio nuevo y seguir el ciclo de combustible abierto, pero si el precio del uranio es alto puede ser efectivo el costo de usar el ciclo de combustible cerrado y recargar combustible a la planta de potencia con combustible MOX. La economía es complicada porque el costo del desarrollo y operación de un depósito geológico profundo no está incluido en la comparación. También el reproceso genera desecho radioactivo de alto nivel que necesita ser contemplado en el costo de desarrollar y operar un depósito geológico profundo. En los Estados Unidos los costos de desarrollo del depósito Yucca Mountain fueron aportados por el Departamento de Energía de Estados Unidos y no por el operador de la planta de potencia nuclear.

3.1.3 Almacenamiento en contenedores secos

Para la planta nuclear que opera el ciclo de combustible abierto y donde la Piscina de Almacenamiento de Combustible (SFP) se aproxima a su capacidad de diseño (aún después de re-racking) con combustible de larga vida, y donde el promedio de calor ha decrecido debido al decaimiento radioactivo, el combustible usado puede ser retirado desde la SFP y consolidado previo a la disposición en un contenedor de combustible seco. Los contenedores

permanecen en el lugar de la planta nuclear y a veces se refieren como Independent Spent Fuel Storage Installations (ISFSI). Los contenedores de almacenamiento de combustible seco están disponibles para las compañías en:

- USA - ANC, Westinghouse, Holtec (HI-STAR y HI-STORM 100)
- Alemania – Gesellschaft für Nuklear-Behaelter mbH (GNB) (CASTOR® and CONSTOR® casks)
- Francia - AREVA
- Canadá – AECL (MACSTOR)

GNB [42] ha fabricado sobre 600 CASTOR® y CONSTOR® contenedores; los países proveedores de estos contenedores incluyen Alemania, Francia, República Checa, Italia, Lituania, Federación Rusa, Sudáfrica, Suiza y los Estados Unidos. Estos contenedores pueden almacenar combustible desde PWR's, BWR's y VVER 1000's entre otros; el combustible CANDU no está mencionado explícitamente. El CONSTOR® (CONcrete cask for Storage Of Radioactive material) es un contenedor de acero/concreto; el CASTOR® (CAsk for Storage and Transport Of Radioactive material) está hecho de fierro fundido dúctil.

Para el combustible CANDU, AECL ha desarrollado un Modular Air-Cooled STORage (MACSTOR) [43]. Una versión más pequeña, el MACSTOR400, también está disponible. AECL ha instalado unidades MACSTOR en el Gentilly 2 en Canadá y en Cernavoda 1 en Rumania. La unidad MACSTOR no está diseñada para la última disposición en el depósito geológico, pero AECl indica que el combustible puede ser fácilmente retirado en el momento de su disposición final.

Similar a los sistemas de GNB's, Holtec proporciona HI-STAR como un diseño de contenedor de metal y HI-STORM como un diseño de concreto [44]. El sistema HI-STAR 100 (Holtec International Storage, Transport And Repository system) consiste en Multi-Purpose Canister (MPC) que contienen todos sobreempaques de metal. El MPC puede acomodar 68 arreglos de combustible de BWR ó 24 ó 32 arreglos de combustible PWR. HI-STAR y HI-STORM han sido utilizados en muchos países alrededor del mundo. El HI-STORM 100U es una nueva variante del HI-STORM, que consiste en un módulo de almacenaje bajo tierra. Holtec indica que tiene riesgo cero de daño por fuego, fuga, huracanes y tsunami.

3.2 Ciclo de Combustible Cerrado

3.2.1 Revisión de la práctica mundial

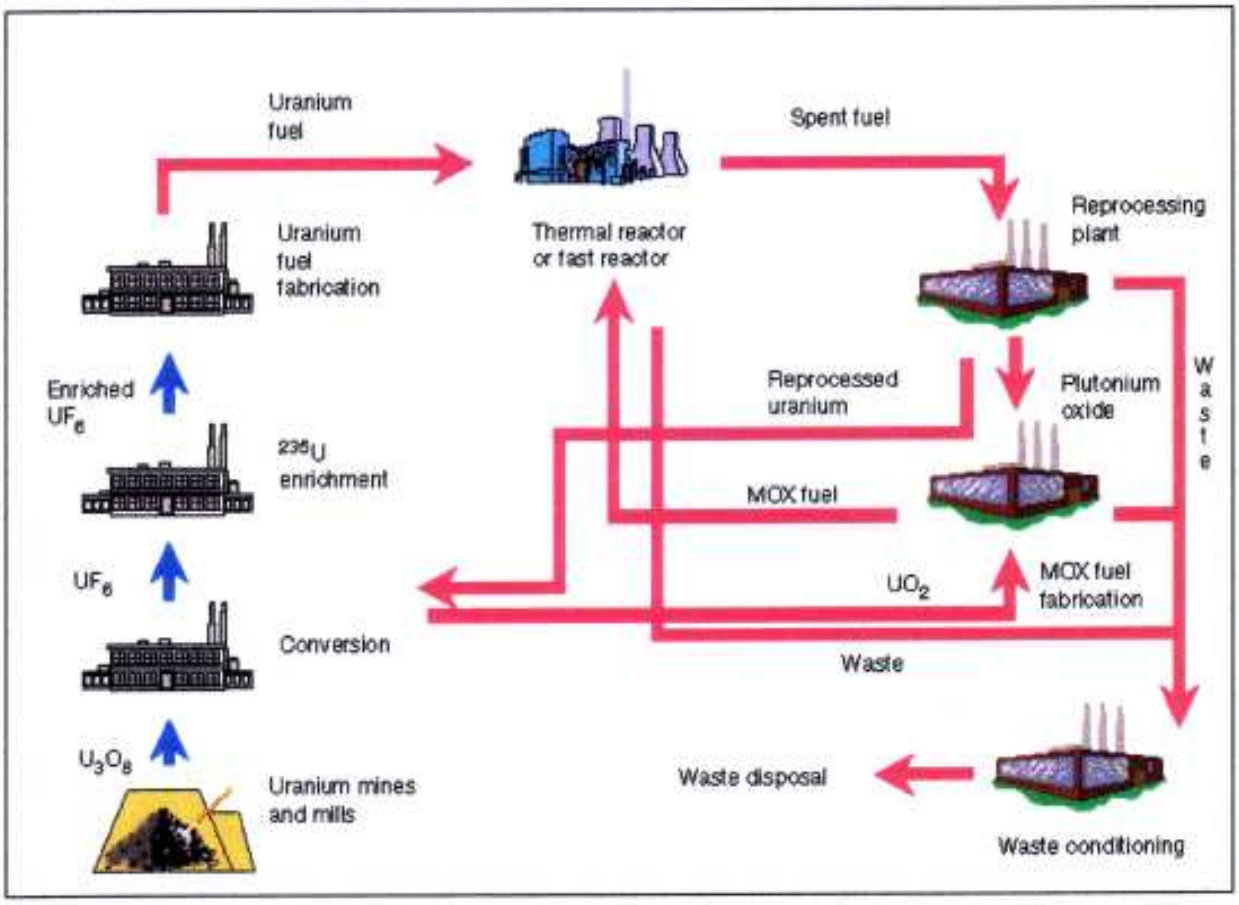


Figura 6 El Ciclo de Combustible Cerrado
Fuente: OIEA

Sólo cinco países en el mundo operan plantas de reprocesamiento, a pesar que un mayor número de países contratan una o más de estas instalaciones para reprocesar sus combustibles usados. La tabla 8 indica la capacidad mundial de procesamiento comercial.

Tabla 8 Capacidad mundial de procesamiento comercial

Tipo de Combustible	País	Instalación	Toneladas por año
LWR	Francia	La Hague	1.700
LWR	Reino Unido	Sellafield THORP	900
LWR	Rusia	Ozersk (Chelyabinsk) Mayak	400
LWR	Japón	Rokkasho-mura	800
Otro	India	Tarapur, Kalpakkam, Trombay	275

Fuente: OECD/NEA 2006 Nuclear Energy Data
Nuclear Eng International 2007

Como se indica en la tabla 7 de la sección anterior, el ciclo cerrado de combustible opera dos facetas; una involucra el reciclado del plutonio separado en el reprocesamiento como combustible de óxido mezclado nuevo (MOX) para la planta de potencia nuclear; mientras la otra involucra el almacenamiento del plutonio separado sin reciclar como combustible nuevo del reactor. Los países que usan combustible MOX son Bélgica, Francia, Alemania, Japón, Suiza y Holanda. La mayoría de los países que reprocesan pero que no reciclan combustible nuclear usado son aquellos de la anterior Unión Soviética usando el combustible suministrado por Rusia; estos incluyen a Bulgaria, Hungría y Ucrania. La Federación Rusa también reprocesa el combustible usado pero no lo recicla a través del LWR's. Otros países que asumen el reprocesamiento incluyen el Reino Unido, Suecia (hasta finales de los 80's) e India. China actualmente está construyendo una planta de reprocesamiento en Lanzhou.

Tabla 9 Experiencia en el uso de MOX en Reactores Térmicos en 1999

País	Número de Reactores en Operación	Número de Reactores usando combustible MOX
Bélgica	7	2
Francia	57	17
Alemania	21	10
Suiza	5	3
Japón	52	0

Fuente: OIEA-TECDOC-1286 May 2002

Para el año 1998, 220.000 toneladas de metal pesado (HM) de combustible nuclear de plantas de potencia comerciales habían sido descargadas como combustible nuclear usado; 75,000 toneladas de HM habían sido reprocesadas, y el remanente de 145,000 toneladas de HM fue almacenado en una planta nuclear de potencia o en una instalación de almacenaje centralizado de combustible construido para ese propósito. En el año 2008 aproximadamente 200 toneladas de combustible MOX fue producido mundialmente, la mayoría en Francia, indicando que sólo aproximadamente una tercera parte del plutonio separado es reciclado como MOX.

3.2.2 Tecnologías de Reprocesamiento

El reprocesamiento del combustible nuclear usado puede reducir el volumen de Desecho de Alto Nivel en aproximadamente un 80% comparado con la disposición directa. Además de esto, aproximadamente un 25% más de energía se puede obtener del uranio original. Sin embargo, entre más alto es el nivel de quemado del combustible nuclear usado, menor es el valor del plutonio debido a un aumento en la proporción de los isótopos no fisibles, actinidas menores (americio, curio, neptunio) y la reducción de los isótopos de plutonio fisibles. La mayor tasa de quemado también afecta la cantidad de uranio-236 neutrones tóxicos en el combustible usado de modo que el uranio separado durante el reprocesamiento, conocido como RepU, requiere un alto nivel de re-enriquecimiento antes de reciclarse como un nuevo combustible nuclear.

Para la mayoría de los tipos de combustible, el reprocesamiento ocurre en cualquier momento entre 5 y 25 años después de la descarga del reactor a la Spent Fuel Pool (SFP). En Francia el combustible LWR es reprocesado después de 15 años de enfriamiento y decaimiento radioactivo en la SFP. Los datos para el 2008 indican que Electricité de France (EdF) reprocesó 850 toneladas de combustible usado LWR, produciendo 8.5 toneladas de plutonio separado y 810 toneladas de RepU. El plutonio es reciclado como aproximadamente 200 toneladas de combustible MOX. El RepU tiene dos destinos – un tercio es enviado a Pierrelatte para re-enriquecimiento previamente a ser utilizado en el combustible MOX; y los otros dos tercios son convertidos en óxido para almacenaje. En otros países el enfoque es que actualmente no es económico usar RepU en combustible nuevo con costos de conversión tres veces mayores que para el uranio fresco, y además el enriquecimiento necesita ser realizado en forma separada debido a que el uranio-232 tiene carga de radiación gamma y el uranio-236 tiene carga de neutrones tóxicos. También cuando los precios del uranio son bajos, el reprocesamiento para producir plutonio para combustible MOX no es económico, pero al subir los precios del uranio y la necesidad para reducir el volumen de combustible usado para administrar aumenta, reprocesar puede convertirse en económicamente viable.

Todas las plantas comerciales de reprocesamiento usan el proceso de Plutonium URanium EXtraction (PUREX) que involucra:

1. Disolución de las barras de combustible en ácido nítrico concentrado.
2. Separación química por extracción por solvente de uranio y plutonio.
3. El uranio es enviado a la planta de conversión previamente al reenrequecimiento.
4. El plutonio es despachado directamente a la planta de fabricación de combustible MOX.

Una variante de este proceso, que está bajo desarrollo en Francia, es el proceso Co-Extraction (COEX) en el cual una pequeña cantidad del uranio recuperado es dejado con el plutonio que es enviado a la planta de fabricación de combustible MOX. Esto significa que el plutonio nunca es separado por si mismo. El trabajo de Boston Consulting Group con AREVA produjo un informe en el año 2006 en el cual se estableció que el reprocesamiento con el proceso acuoso COEX sería económicamente competitivo contra la disposición directa del combustible usado en Yucca Mountain. El proceso COEX actualmente no está disponible comercialmente.

Otra variante del proceso PUREX, será usada en la nueva planta japonesa Rokkasho-mura donde el uranio y el plutonio son combinados en proporciones iguales previo al proceso final de desnitratación.

El remanente líquido después que se han extraído el uranio y el plutonio, es el flujo de High Level Waste, que contiene todos los productos de fisión y los actinidas menores (neptunio, americio y curio). Es muy radioactivo y genera suficiente calor para requerir enfriamiento activo. El líquido HLW puede solidificarse por calcinación e incorporado al vidrio de boro silicato – un proceso conocido como vitrificación. En esta forma puede ser ubicado en los depósitos geológicos profundos.

El Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) formado en Febrero de 2006 está trabajando para desarrollar tecnologías de reciclaje nuevas que sean resistentes a la proliferación. Las principales metas de este grupo son producir más energía del material fuente, reducir el aumento de desechos y minimizar las posibilidades de proliferación. Un objetivo es desarrollar tecnologías nuevas de reprocesamiento que separen todos los elementos transuránicos (no sólo el plutonio en si mismo). Este proceso es conocido como el proceso UREX. Variantes de éste están bajo desarrollo, tales como el proceso UREX+ que permite la recuperación del yodo y tecnecio en la etapa de disolución de barras de combustible. Estos elementos pueden ser usados para propósitos médicos pero también reducen el impacto ambiental de las descargas líquidas de las últimas etapas del proceso. Una variante adicional, bajo el desarrollo por Energy Solutions Inc, es el proceso NUEX en el cual los

productos son uranio, productos de fisión y el plutonio con todos los transuránicos. La combinación del plutonio con los transuránicos requiere que el plutonio sea reciclado a través de un reactor rápido puesto que los neutrones rápidos son efectivos en la destrucción de los transuránicos.

El objetivo detrás de la separación de los productos de fisión y los transuránicos es que la media vida resultante del HLW sea considerablemente más corta con la descomposición de radioactividad a los niveles del metal uranio original en aproximadamente 500 años.

Otra opción de reciclado nuclear de combustible es el uso directo del combustible usado PWR en reactores CANDU (Direct Use of used PWR fuel In CANDU reactors, DUPIC). Esto está siendo desarrollado conjuntamente con Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) y las organizaciones de investigación en la República de Corea. Existen dos líneas de desarrollo:

i. Las barras de combustible LWR son cortadas al largo de las barras de combustible CANDU, reselladas y fabricadas en arreglos de combustible CANDU.
ii. Los pellets de combustible LWR son convertidos a polvo, los productos de fisión volátiles hierven y el polvo residual se prensa y se convierte en pellets de combustible CANDU.

El alto nivel de radioactividad y el nivel de calor hacen que la producción de combustible DUPIC sea una tarea muy difícil, manejada en forma remota; el americio es volátil y el curio es un emisor de neutrones. **Así DUPIC no es un ciclo de combustible comercialmente disponible**.

3.2.3 Gestión del Plutonio

El plutonio extraído del combustible reprocesado necesita ser fabricado en el combustible MOX rápidamente después de la extracción porque el Plutonio-241 se descompone en Americio-241 con una vida media de aproximadamente 14 años. De esta forma el Americio-241 crece a aproximadamente 0.5% por año [47]. El americio es un gran emisor de radiación gama, de modo que se vuelve difícil manipular plutonio sobre 5 años en una planta convencional de fabricación de MOX. La decadencia radioactiva del plutonio-241 también reduce el contenido fisible del combustible. El plutonio-238 es también un problema para la manipulación del combustible MOX. Tiene una vida media de aproximadamente 88 años y aumenta en concentración con el aumento de combustible

usado. El plutonio-238 es un gran emisor de radiación alfa y una fuente espontánea de neutrones.

Al 2008 el combustible MOX es usado en 30 reactores en Europa, y Japón está planificando usar MOX en 20 de sus LWR's. La mayoría de los reactores pueden aceptar hasta 30% del de las barras dell núcleo de combustible MOX, mientras que el resto son barrar de combustible estándar de dióxido de uranio. Los reactores avanzados LWR's – el AREVA EPR y el W AP1000 – serán capaces de aceptar el 100% de las cargas de núcleo de MOX; también los reactores AECL's CANDU son capaces de la utilización total del núcleo con MOX. El combustible MOX generalmente contiene aproximadamente 5% de plutonio-239.

El combustible MOX se vuelve más atractivo a medida que el consumo de combustible aumenta, haciéndolo más fácil y más barato agregar un poco más de plutonio al combustible durante la fabricación que aumentar el contenido de uranio-235 por enriquecimiento.

En todo el mundo existen solo dos plantas que producen cantidades comerciales de combustible MOX. Estas están en Francia (195 toneladas HM/año) y en el Reino Unido (40 toneladas HM/año), es decir, un total aproximado de 235 toneladas HM/año. Japón está planificando comisionar una nueva planta MOX en Rokkasho en el 2012 con una capacidad de 130 toneladas HM/año.

En sus inicios, el reprocesamiento de combustible irradiado MOX fue visto como un problema debido a la dificultad en alcanzar la disolución completa del dióxido de plutonio. Sin embargo, en el año 2004 en Francia se procesaron exitosamente 10 toneladas de combustible irradiado MOX (35 GED/te quemado) [47] en la planta Le Hague mostrando que el problema de la disolución del dióxido de plutonio había sido resuelto. Sin embargo, no es común la práctica de reprocesar el combustible MOX y el plutonio recuperado puede ser reciclado a través de LWR's sólo una o dos veces a medida que se deteriora la calidad del isótopo.

3.3 El ciclo del combustible Torio

3.3.1 Perspectiva general del ciclo de combustible Torio

El torio es tres a cuatro veces más abundante en la naturaleza que el uranio y se encuentra principalmente como el isótopo 'fértil' torio-232. El torio no es fisible pero cuando es usado con un combustible 'conductor' el torio-232 absorbe los neutrones térmicos para producir, vía una cadena de descomposición, uranio-233 que es fisible y de larga vida. La cadena de producción involucra el torio-232 absorbiendo un neutrón para convertirse en torio-233, que

vía desintegración beta decae a protactinio-233. El protactinio-233 tiene una vida media relativamente larga de ~27 días.

El interés en el uso del torio surge debido a que:

i. La resistencia intrínseca a la proliferación del ciclo de combustible de torio debido a la presencia de uranio-232 y sus productos hijos de fuerte emisión gama tales como el bismuto-212 y talio-208.
ii. Mejores propiedades termo-físicas y estabilidad química del dióxido de torio comparado con el dióxido de uranio que asegura mejor ejecución in-pile y una forma de desecho más estable.
iii. Actínidos minoritarios menores de larga vida que el ciclo de combustible tradicional de uranio.
iv. El uranio-233 es neutrónicamente mejor que el uranio-235 o plutonio-239 porque produce más neutrones por fisión. En el uranio-233 el número de neutrones liberados por fisión (2.5) es mayor que dos en un gran rango del espectro, permitiendo la reproducción térmica es posible a diferencia del uranio-235 (2.4) y el plutonio-239 en los cuales la reproducción sólo es posible en el espectro de neutrones rápidos.
v. Todo el torio puede ser usado para producir uranio-233, en tanto que en el uranio natural sólo el uranio-235 es fisible.
vi. La sección eficaz de absorción para los neutrones térmicos de torio-232 es 7.4 barns que es casi tres veces la que el uranio-238 de 2.7 barns. así es posible una tasa de conversión más alta con torio que con uranio.
vii. La tasa de liberación del producto de fisión para combustible basado en torio es de un orden de magnitud menor que para el dióxido de uranio.
viii. En el ciclo de combustible de torio-232 – uranio-233 se forma una cantidad mucho menor de plutonio y actínidos minoritarios (neptunio, americio, curio) de larga vida en comparación a los ciclos de combustible de uranio-238 – plutonio-239; de esta manera minimiza la radiotoxicidad asociada con el combustible usado. Sin embargo, en el back-end del ciclo de combustible de torio-232 – uranio-233 existen otros radionuclidos tales como protactinio-231, torio-229 y uranio-230 que puede impactar radiológicamente a largo plazo.

El esfuerzo internacional en el desarrollo del ciclos de combustible basado en torio está enfocado a través del OIEA INPRO (Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles Programme) y del programa US Department of Energy GIF (Generation IV International Forum). En el pasado, el ciclo de combustible basado en torio ha sido usado en una variedad de reactores de potencia – 300 MWe THTR (Thorium High-Temperature Reactor) en Alemania, Fort St Vrain en USA, el reactor de Shippingport en USA y 60 MWe Lingen BWR en Alemania. Muchos reactores experimentales y de prototipo fueron desarrollados entre los

años 50's a 70's usando combustibles $(Th,U)O_2$ y $(Th,U)C_2$ en Reactores de Alta Temperatura Enfriados por Gas (High Temperature Gas-Cooled Reactors) y LWR's.

Los combustibles basados en torio tienen una resistencia intrínseca a la proliferación porque los productos hijos tales como bismuto-212 (0.7 - 1.8 MeV) y talio-208 (2.6MeV) son fuertes emisores gama.

Los principales países, comprendiendo el 83% de los recursos del mundo, con depósitos de torio son Australia (18%), USA (Idaho) (16%), Turquía (13%), India (12%), Venezuela (12%) y Brasil (12%) [49].

El ciclo de combustible del torio puede ser abierto o cerrado. El ciclo de combustible abierto está basado en la irradiación de torio-232 y en fisión in situ del uranio-233 sin la separación química del uranio-233. El ciclo de combustible cerrado involucra el reproceso químico del combustible irradiado para la recuperación del uranio-233 y la fabricación de un nuevo contenedor del combustible uranio-233.

Existen muchos desafíos en el ciclo de combustible del torio, por ejemplo:

i. El dióxido de torio irradiado y el combustibles usado basado en dióxido de torio son difíciles para disolver en ácido nítrico debido a lo inerte del dióxido de torio (discutido en más detalle en la Sección 3.3.3).
ii. La alta radiación gama asociada con los productos hijos de corta vida de uranio-232, que siempre están asociados con el uranio-233, necesita reprocesamiento y fabricación de combustible remotos.
iii. El protactinio formado en el ciclo de combustible del torio también causa algunos problemas (discutido en más detalle en la Sección 3.3.3).
iv. El uranio-233 es altamente radioactivo y si está contaminado con uranio-232 contendrá talio-208 un producto hijo de la descomposición de uranio-232. El talio-208 es un emisor gama fuerte de corta vida.
v. El reciclado del torio también presenta un peligro de radiación debido a la presencia de torio-228, un emisor alfa de corta vida.
vi. El punto de derretimiento del oxido de torio (3,350 ℃) es mucho más alto que el del oxido de uranio (2,800 ℃) de modo que se requiere una temperatura mayor para producir pellets de alta densidad. Esto puede requerir la adición de oxido de calcio, magnesio o niobio como de catalizador de sinterización.

3.3.2 El ciclo abiero del Torio

Una opción para el ciclo de combustible de torio abierto (once-through, OTT) para el LWR's es conocido como el concepto 'Radkowsky' y evita el desafío de reprocesamiento y fabricación de combustibles basados en uranio-233 altamente radiotóxico. La base de este concepto es que cada arreglo de combustible está hecho de una región de simiente central con material fisible (ya sea uranio enriquecido o plutonio) rodeado de una región manto basada en torio. La región central es desmontable y puede ser reemplazada durante el relleno de combustible; la región simiente mantiene la irradiación por 900 días efectivos a potencia típica total mientras que la región manto permanece en el núcleo por aproximadamente 2.600 días efectivos a potencia típica total. Usando este concepto hasta ~40% de la potencia es generada por el uranio-233.

Una alternativa al concepto Radkowsky de la disposición simiente-manto es patrocinada por el US Department of Energy's Nuclear Research Initiative (NERI). Este es el concepto Whole Assembly Seed and Blanket (WASB) donde las unidades de simiente y de manto ocupan un arreglo de combustible para PWR del tamaño completo. Estas unidades están dispuestas en la combinación tradicional de un tablero de ajedrez en el núcleo del reactor. Se intenta que los arreglos de simiente y manto sean usables en PWR's/VVER's existentes con cambios mínimos al hardware, compatible con la envoltura segura existente y para ser económicamente competitivo con el suministro de combustible con base de uranio. El diseño involucra tener espacios combustibles a moderador en los arreglos de combustibles de simiente y el manto que reduzcan la producción de plutonio en las barras de simientes y aumente la producción de uranio-233 su consumo in situ en las barras de manto. Como en el concepto Radkowsky, el tiempo de residencia en el núcleo para los arreglos de manto es aproximadamente 6 a 9 años, resultando en un alto consumo del combustible y una reducción consecuente en el volumen del combustible usado. La OIEA [50] ha calculado el costo del ciclo de combustible para el diseño de combustible de simiente y de manto y comparado al costo del ciclo de combustible de dióxido de uranio convencional PWR. Basado en una extensión de ciclo de 18 meses, el costo de la opción WASB es muy similar a la del ciclo de combustible de dióxido de uranio basado en 4.5% de combustible enriquecido en un núcleo de 3-batch con una decaimiento con descarga de 52 GWd/te.

El desarrollo del combustible del ciclo de combustible torio es uno de los objetivos del programa US DoE NERI y comprende desde el desarrollo de pellets de combustible anular con regiones separadas de dióxido de uranio y dióxido de torio hasta un combustible metálico en que las partículas de dióxido de torio y dióxido de uranio están dispersadas en una matriz de zirconio (cermet) que proporciona alta densidad, alta conductividad térmica y alta contención del producto de fisión.

Un proyecto separado de US DoE NERI está examinando las características del combustible basado torio en una retícula apretada para reactores BWR. Los resultados, tal como han sido informados por el OIEA, indican un coeficiente de reactividad más negativo, una alta razón de conversión y una reducción en la producción de desechos radiotóxicos de larga vida que con los correspondientes combustibles basados en uranio.

El núcleo del reactor CANDU proporciona más flexibilidad para el uso del ciclo de combustible de torio. La aproximación de 'canal mixto' (mixed channel) permite separar canales para ser llenados con combustible de uranio levemente enriquecido y combustible de simiente de dióxido de torio. El combustible de torio permanece en el núcleo por mucho más que el combustible conductor. En este sentido, con una combinación de frecuencias de rellenado, destrucción por decaimiento y enriquecimiento de uranio es posible optimizar la economía del ciclo de combustible OTT. No obstante no está demostrado en esta etapa que exista la posibilidad de reemplazar el combustible levemente enriquecido 'driver' con combustible DUPIC del combustible reciclado PWR o MOX.

Un enfoque alternativo para el reactor CANDU es poner combustible en todo el núcleo con un 'mixed fuel bundle' en el cual el arreglo de combustible está hecho de una mezcla de barras de combustible conductoras de uranio levemente enriquecido y barras de combustible con dióxido de torio natural. Este enfoque 'mixed bundle' permite el uso del combustible de torio en los actuales reactores CANDU dentro del marco actual de seguridad y operación. AECL ha examinado opciones para decaimiento por quemado de los combustibles basados en torio que existen en los reactores CANDU 6. El diseño de combustible propuesto involucra un 1.8% de uranio enriquecido en las 35 barras de combustible exteriores del arreglo de combustible CANFLEX con 8 barras de combustible interiores que contienen dióxido de torio. Esta 'mixed fuel bundle' puede permitir 'reciclaje directo' (direct recycle) de las barras de combustible de torio irradiado en la región central de un nuevo arreglo de combustible, permitiendo una generación adicional por decaimiento de Elementos Pesados de 20 GWd/t para las barras de combustible de torio para cada reciclado.

3.3.3 El ciclo cerrado del Torio

Los pasos en el reprocesamiento de combustible de torio usado son:

i. Separación del combustible irradiado del recubrimiento – el proceso Head End
ii. La disolución de los pellets de combustibles irradiados en la solución hirviendo THOREX (ver más abajo)

iii. Separación del torio, uranio, y plutonio de los productos de fisión por extracción por solvente
iv. Co-precipitación de sales de torio-uranio y torio-plutonio.

El torio y el combustible de oxido de torio mezclado (thorium-based mixed oxide fuel) son relativamente inertes y no se disuelven fácilmente en ácido nítrico concentrado de manera que la adición de cantidades pequeñas de ácido hidroflúorico es necesaria; esto causa corrosión de equipos de acero inoxidable en la planta de reprocesamiento, que se mitiga por la adición de nitrato de aluminio. El agente de disolución del combustible del proceso THOREX comprende 13 M ácido nítrico + 0.05 M ácido hidroflúorico + 0.1 M nitrato de aluminio. El reprocesamiento involucra largos períodos de disolución en esta solución a ~393K.

El proceso de Extracción del torio-uranio (THORium-uranium Extraction, THOREX) fue desarrollado en Oak Ridge National Laboratory (ORNL) en USA durante los años 50's. Está basado en la extracción de solvente usando fosfato de tributilo (TBP) para separar el uranio y el torio de los productos de fisión. **El proceso THOREX solo ha sido usado en pocos países en una escala de laboratorio o de planta piloto**; en India se hizo en Babha Atomic Research Centre (BARC) en 1970.

La presencia de bismuto-212 (0.7 – 1.8 MeV) y talio-208 (2.6 MeV) como fuertes emisores gama aumenta los costos de las actividades del ciclo de combustible.

El protactinio-233 está formado como un núclido intermedio en la transición desde el torio-232 al uranio-233. Tiene una vida media relativamente larga (~27 días) necesitando un período de enfriamiento de al menos un año previo al reprocesamiento.

Algunos de los mayores problemas del back end del ciclo de combustible de torio incluyen:

i. La formación de uranio-233 a partir del torio-232 involucra la formación por descomposición radioactiva de protactinio-233. Este tiene una vida media de ~27 días de modo que es necesario enfriar el combustible por más de 10 vidas medias antes de reprocesarlo. También en el proceso THOREX cualquier protactinio es normalmente pasado a la corriente de desecho producto de la fisión y el protactinio-231 es un radionúclido emisor alfa con una media de vida de ~ 30,000 años. Esto crea un daño radiológico de largo plazo para la disposición del HLW del reprocesamiento.
ii. El uranio-232 es producido en conjunto con el uranio-233. El uranio-232 es un emisor alfa de larga vida (vida media ~ 73.6 años) que se descompone en torio-228; en la subsiguiente cadena de descomposición se produce el bismuto-212 y talio-208, que son emisores gama de corta vida (0.78 MeV y 6

MeV respectivamente). Esto implica la necesidad de manipulación remota durante el reprocesamiento y la refabricación.

iii. Los sulfatos, fosfatos y fluoruros presentes en los refinados desde el reprocesamiento de combustibles basados en torio pueden causar problemas de corrosión a altas temperaturas requeridas durante el proceso de vitrificación. Además más que un 20% de los fluoruros se espera que se volatilicen durante el proceso de vitrificación y de esta manera el proceso de THOREX se espera que produzca un volumen de vidrio de ~60% más que el proceso PUREX equivalente.

La experiencia base para el ciclo de combustible de torio es muy limitada y es insuficiente para garantizar la gran inversión requerida para la comercialización del ciclo del combustible. Considerables trabajos de desarrollo se requieren aún, antes de que el ciclo del combustible se vuelva una realidad comercial, y es improbable que estos trabajos sean desarrollados mientras el uranio permanece disponible a precios relativamente bajos.

4. TENDENCIAS FUTURAS E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

4.1 Revisión de la práctica mundial

La confiabilidad del combustible es un requerimiento clave del ciclo de combustible nuclear en términos del manejo del combustible nuclear usado y la minimización del aumento de desecho radioactivo operacional. En la década pasada el esfuerzo internacional ha estado dirigido a entender la causa de las fallas del combustible durante la operación del reactor y a, tanto como sea posible, eliminar aquellas causas. La Figura 7 muestra la evolución del número de fallas del combustible en US PWR's y BWR's (104 plantas de potencia nuclear en total) desde 1980 tal como fue publicado por el Electric Power Research Institute (EPRI) [51].

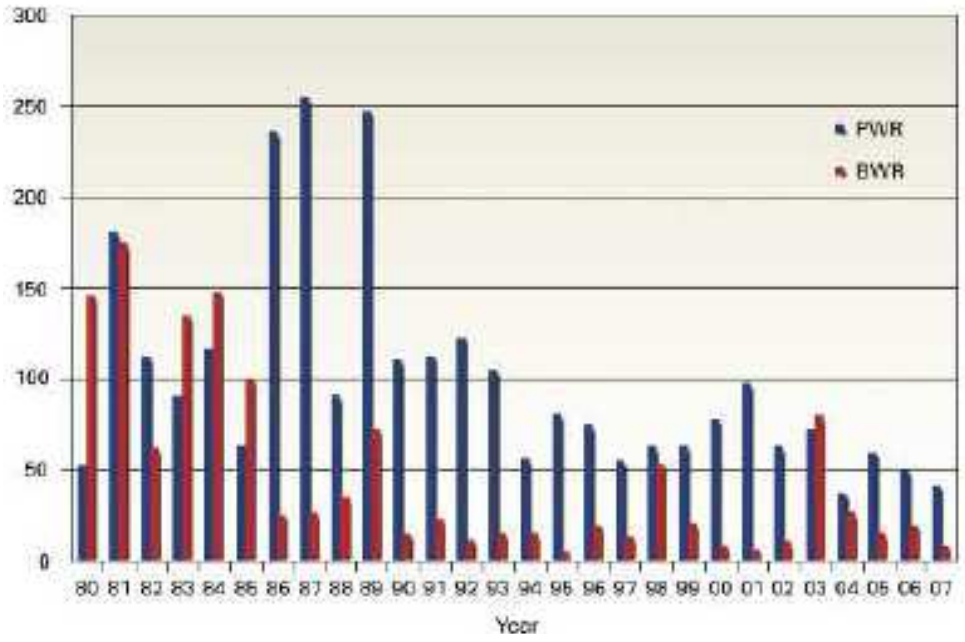


Figura 7 Fallas en el Combustible en reactores PWR's y BWR's en EEU.U. 1980 – 2007
Fuente: EPRI

El Institute of Nuclear Power Operations (INPO) fijó una meta en Noviembre de 2005 para todas las plantas de potencia nuclear para alcanzar cero fallas de combustible para el 2010. INPO Guideline 07-004 publicado en 2007 estableció las "Guías para alcanzar la excelencia en el funcionamiento del combustible nuclear" (Guidelines for Achieving Excellence in Nuclear Fuel Performance).

Como parte de las Fuel Reliability Guidelines de EPRI se hace una recomendación para establecer un programa para prevenir la reinserción de combustible fallado durante una parada de rellenado de combustible.

Asociado a la fiabilidad del combustible está la duración del ciclo del combustible y la tasa de combustible quemado. En años recientes, la duración del ciclo del combustible ha aumentado con el aumento del quemado del combustible con el resultado que la disponibilidad de la planta ha aumentado y el volumen de combustible usado para almacenar y disponible ha disminuido [52]. El decaimiento del combustible en el PWR está actualmente en la región de 50 a 55 GWd/te y para BWR está en la región de 45 GWd/te [53].

Los desarrollos tecnológicos actuales para mejorar la fiabilidad del combustible y aumentar la irradiación de descarga del combustible a menudo requiere el examen destructivo del combustible en 'hot cells', un proceso conocido como Post Irradiation Examination (PIE). Estas instalaciones existen en los principales países con reactores nuclear alrededor del mundo y el PIE es una actividad comercialmente disponible aunque se necesita cuidado para mantener la confidencialidad comercial de ciertas características de cada diseño del proveedor de combustible. Aún sin el proceso PIE, el EPRI [54] estima que las fallas del combustible pueden costar a las plantas nucleares algo así como US$ 40 a 80 millones por evento.

La economía del ciclo de combustible dicta la tendencia de aumentar el decaimiento del combustible y asociado con éste un aumento del periodo entre las paradas. El EPRI [55] propuso el desarrollo de los combustibles nucleares avanzados con enriquecimiento de bajo 5 w/o el uranio-235 capaces de alcanzar en su decaimiento la descarga de 100 GWd/Te.

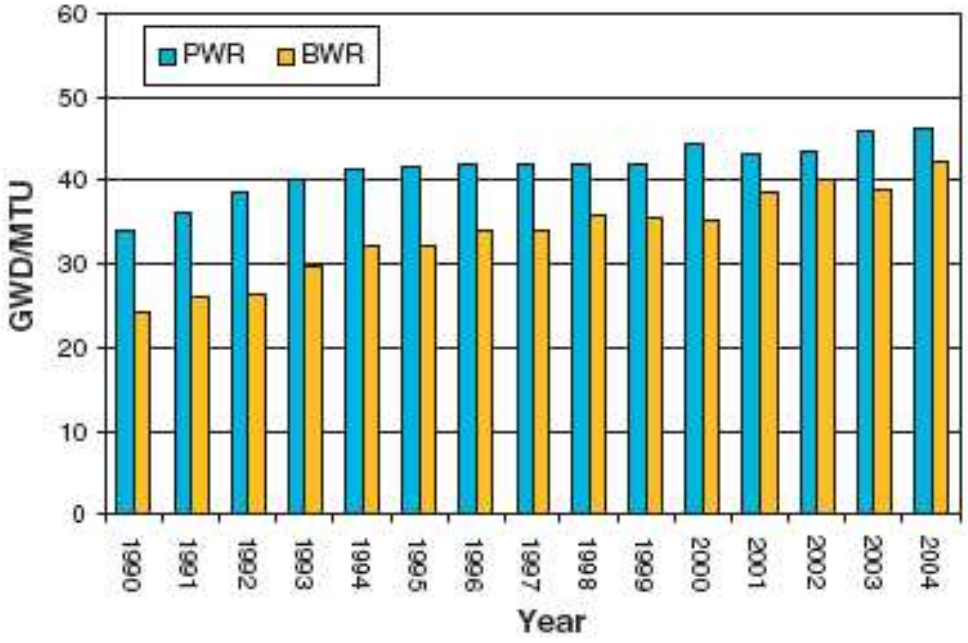


Figura 8 Tendencia en decaimiento del combustible LWR en plantas de EE.UU.

Fuente EPRI [55]

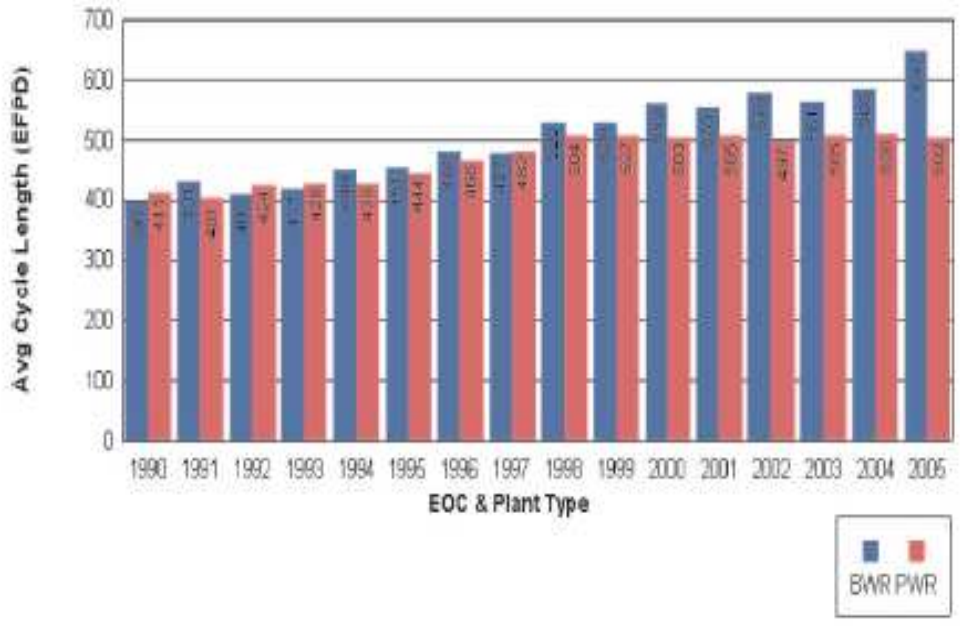


Figura 9 Tendencia en duración del ciclo en LWR en EE.UU. (días efectivos a plana carga)

Fuente EPRI [55]

4.2 Foro Internacional de generación IV (Generation IV International Forum)

4.2.1 Objetivos y Membrecía

Como parte de la estrategia “Esperar y Mirar” (Wait and See) es apropiado ver el desarrollo de la tecnología del ciclo de combustible y su progreso hasta este momento. Dependiendo del grado de madurez técnica, los sistemas de Cuarta Generación y sus ciclos de combustible se esperan que se vuelvan comercialmente disponibles entre el 2015 y 2030. La Generation IV International Forum (GIF) fue establecida en Julio del 2001 “para liderar los esfuerzos colaborativos de las naciones que lideran la tecnología nuclear del mundo para desarrollar los sistemas de energía nuclear de la próxima generación” [56, 58]. GIF incluye programas para desarrollar combustibles innovativos con Actínidos Minoritarios (Am, Cm) para la destrucción de los Actínidos Minoritarios y un proyecto apuntado a demostrar la posibilidad del reciclado de los Actínidos Minoritarios en el combustible óxido. Para apoyar esto, el programa GIF está patrocinando un programa de I+D considerando las opciones de reciclado de combustible incluyendo el reprocesamiento ‘Advanced’ Aqueous” de combustibles de oxido y tecnología de piro procesos para combustibles metálicos avanzados.

Los miembros actuales del GIF son:

- Argentina *
- Brasil *
- Canadá
- China
- Euratom
- Francia
- Japón
- Corea
- Federación Rusa
- Sudáfrica
- Suiza
- Reino Unido *
- Estados Unidos de América

* Miembros no activos

4.2.2 Tecnología de Reproceso 'Advanced Aqueous'

La instalación de Reproceso Advanced Aqueous puede estar centralizada con un rendimiento de ~1,000 MtHM por año para el combustible LWR. La opción de reprocesamiento Advanced Aqueous [57] comprende un proceso PUREX simplificado con la adición de un paso de cristalización de uranio y un proceso de recuperación de Actínidos Minoritarios. El proceso de cristalización de uranio remueve la mayoría de los metales pesados en el Head End y los elimina del proceso de aguas abajo. Se estima que en el ciclo de oxido de combustible más del 99% del uranio y los elementos transuránicos pueden ser reciclados. Debido a que el proceso se construye específicamente para los LWR existentes y la tecnología de ciclo del combustible para Reactores Rápidos, los miembros del GIF anticipan que puede ser rápidamente desarrollado para una planta de demostración.

El principal objetivo del proceso de cristalización de uranio es la separación barata de importantes cantidades de uranio de bajo enriquecimiento del combustible usado de LWR. En esta forma, es una alternativa al proceso UREX (Uranium Extraction) discutido en la Sección 3.2.2. GIF estima que la etapa de cristalización de uranio podrá reducir el remanente de los metales pesados a la corriente de reprocesamiento a ~1%. El proceso de cristalización del uranio ha sido demostrado ser factible en Japón.

El ciclo de combustible propuesto se ilustra en la Figura 10.

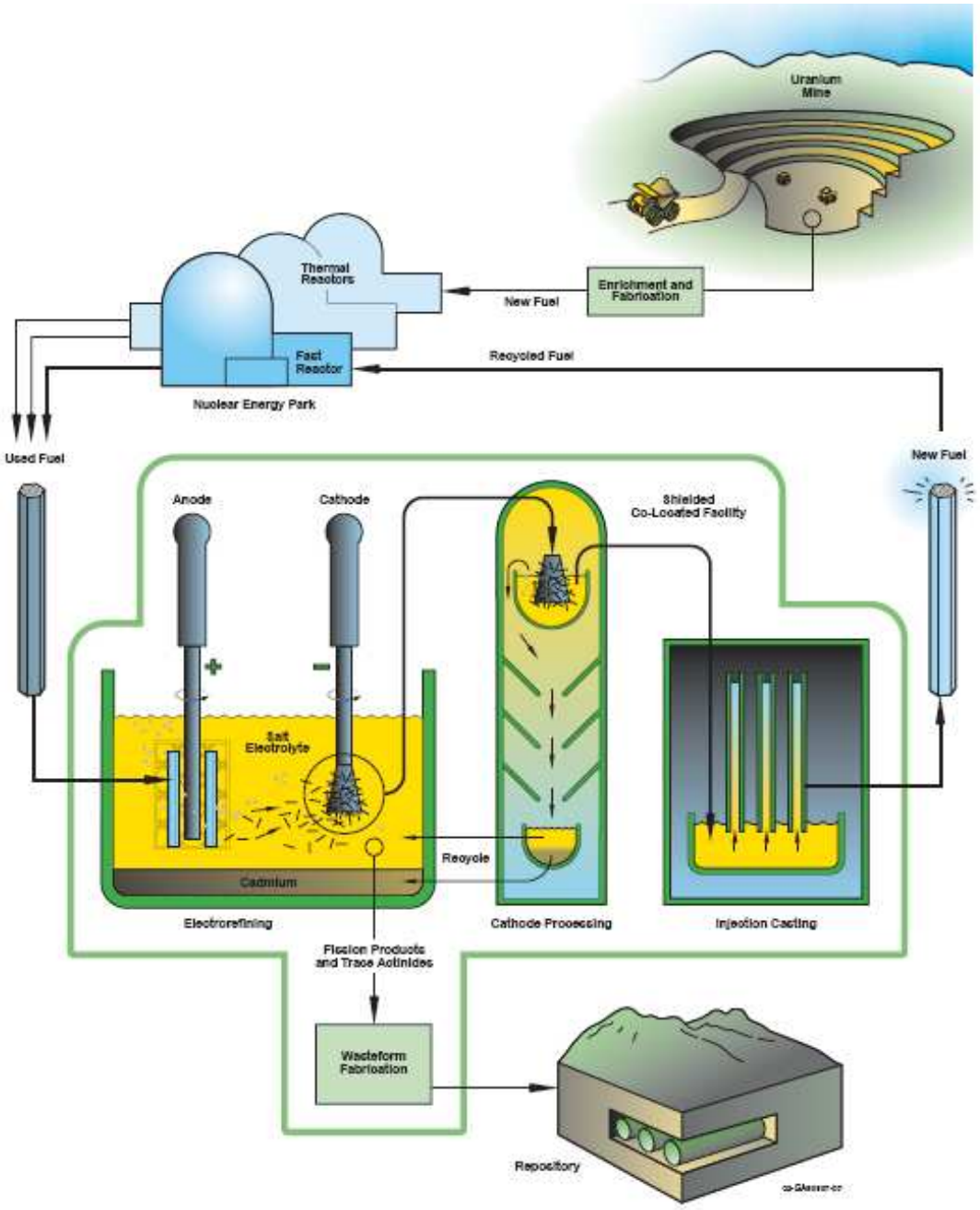


Figura 10 Ciclo de combustible con reproceso 'Advanced' Aqueous propuesto para el combustible óxido de LWR

Fuente: GIF-002-00

El ciclo del combustible preferido para la mayoría de los sistemas de Generation IV es un ciclo de combustible de reciclo completo de actínidos, donde el plutonio y todos los Actínidos Minoritarios se reciclan. Esto tiene las ventajas que:

i. La radioactividad a largo plazo del desecho enviado a depósito geológico es reducida.
ii. La resistencia a la proliferación es aumentada ya que los materiales nucleares usables por el armamento son removidos del desecho ubicado en un depósito geológico.
iii. El tamaño del depósito es más pequeño reduciendo el costo de su desarrollo.

En el reciclaje *heterogéneo* los Actínidos Minoritarios son separados del plutonio y el plutonio puede ser reciclado a través de reactores térmicos. En el reciclado *homogéneo* los Actínidos Minoritarios y el plutonio permanecen juntos y son fabricados en combustible nuevo que sólo puede ser usado en un reactor rápido que pueda quemar los Actínidos Minoritarios.

El presupuesto de programa de I+D de la tecnología de reprocesamiento actual de Advanced Aqueous es de US$ 70 M y está orientado para completarlo el 2010. El programa de GIF es compatible con el programa OIEA INPRO y el programa de US DoE patrocinado por GNEP.

4.3 Diseños de combustibles que han solicitado la USNRC Design Certification

Los diseños de plantas que han obtenido la certificación de diseño emitido por USNRC son:

- Advanced Boiling Water Reactor (ABWR) - General Electric Nuclear Energy.
- System 80 - Westinghouse
- Advanced Passive 600 (AP600) - Westinghouse
- Advanced passive 1000 (AP100) - Westinghouse

Los diseños de plantas que tienen su diseño bajo revisión de la USNRC son:

- Advanced Passive 1000 amendment - Westinghouse
- Economically Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR) - GE-Hitachi Nuclear Energy
- U.S. Evolutionary Power Reactor (U.S. EPR) - AREVA Nuclear Energy
- U.S. Advanced Pressurised Water Reactor (US-APWR) - Mitsubishi Heavy Industries, Ltd

Todos estos reactores tienen, como parte de los diseños enviados al proceso de certificación, el diseño del combustible. Se entrega una descripción de los diseños de combustible en las plantas bajo la revisión en las siguientes subsecciones.

4.3.1 AP 1000

El diseño básico de combustible del AP 1000 ha tenido una importante experiencia de operación en los reactores en todo el mundo, pero habrá aumentado los márgenes de seguridad tanto mecánica como térmicamente.

El diseño del arreglo de combustible tiene un largo de combustible activo de 4,267 metros [59]. Utiliza 264 barras de combustible en un diseño de rejilla de 17x17. El arreglo de combustible tiene características de resistencia y agrega rejillas de Intermediate Flow Mixing (IFMs) para aumentar la eficiencia de diseño térmico y mecánico.

El combustible es un pellet cilíndrico de dióxido de uranio que contiene un revestimiento de ZIRLO^{TM} (una aleación de Zirconio que contiene Niobio, Lata e Hierro, un sucesor del Zircaloy-4). Otros tipos de barras de combustible pueden ser usadas dentro de algunos arreglos de combustible. Uno de los tipos usa un absorbedor integral de combustible utilizable que contiene una cubierta delgada de boruro en la superficie del pellet de combustible. Otro tipo usa un pellet de combustible que contiene mezcla de óxido de gadolinio con óxido de uranio. Las barras de combustible contienen espacio de gas adicional debajo de los pellets comparados al combustible Robust y XL Robust para permitir aumentar la producción de gas de fisión debido al mayor consumo de combustible. Los pellets de combustible tienen una densidad de 95.5% de la teórica. El diámetro del pellet de combustible es de 0.819 cm y su largo es de 0.983 cm [59]. El enriquecimiento del combustible es menor que 4.95% U^{235} [59] y por lo tanto dentro del 5% de restricción asignado a las plantas de enriquecimiento civil.

4.3.2 ESBWR

El combustible ESBWR es un diseño derivado del combustible GE14 [60]. Se ha indicado que es un diseño probado que soporta los ciclos de alta energía y alta exposición. Las características del combustible de ESBWR reducen la caída de presión a través del montaje, aumentan el margen de paradas y mejoran la eficiencia del combustible. Se ha indicado que los ciclos permiten paradas cada 24 meses.

4.3.3 US EPR

El combustible de U.S. EPR tiene un largo activo de 4,2 m. Puede soportar tiempos de ciclos de dos años. Las barras de combustible comprenden un arreglo de 17 x 17 con un recubrimiento de M5. Se prevé enriquecimientos sobre 5 w/o uranio-235.

4.3.4 US APWR

El combustible de U.S. APWR es muy similar al combustible W AP1000. Tiene un largo de combustible activo de 4,2 m con un arreglo de barras de combustible de 17x17. El combustible es pellet cerámico de dióxido de uranio enriquecido al máximo de 5 w/o uranio-235 con una densidad de 97% de densidad teórica [61]. El U.S. APWR utilizará el material de recubrimiento ZIRLO™.

4.3.5 Combustible Anular

Además de los diseños de combustible para las nuevas plantas Gen III+ descritas arriba, el USNRC está revisando un diseño de pellet de combustible anular para las plantas Gen III existentes.

Enfriado interna y externamente, el combustible anular es un nuevo tipo de combustible PWR que pretende aumentar la densidad de la potencia del núcleo por 50% mientras se mantienen o mejoran los márgenes de seguridad. En el diseño propuesto las nuevas barras de combustible necesitarían ser significativamente más largas para alcanzar suficiente flujo a través del canal de enfriamiento interior pero el tamaño completo del montaje no cambiaría de los diseños actuales, (esto se alcanza pasando de una matriz de 17x17 a una de 13x 13) y, por lo tanto, el intento es que al implementarse en los diseños de las plantas existentes se aumentara en un promedio de 50% la potencia de salida de la planta.

Cambiando la geometría sólida a la geometría anular permite un aumento en la densidad de la potencia porque:

- Reduce el espesor del paso de conducción, mejora el margen de la temperatura de fusión y disminuye la liberación de los gases de fisión.
- Aumenta el área de la superficie de transferencia de calor, lo que mejora el margen para la temperatura de hervor en el núcleo.

El aumento en la densidad de la potencia requiere un aumento en el flujo de enfriamiento a través del núcleo. Esto resulta en una mayor caída de presión y mayor velocidad de enfriamiento en el núcleo, requiriendo bombas más potentes. Han surgido muchos temas acerca del nuevo combustible pero esos se han resuelto a través de la investigación [62], por ejemplo:

1. Aumento de vibraciones. Se ha demostrado que el 150% de la tasa de flujo del combustible anular equivale al 100% de la tasa de flujo del combustible sólido, respecto a la vibración inducida por vórtices, la inestabilidad elástica del fluido, y las vibraciones inducidas por turbulencias.
2. El aumento del despegue del arreglo de combustible. Se requieren modificaciones al diseño.
3. El aumento de la inestabilidad hidráulica térmica debido a los canales de enfriamiento no comunicantes. No se observaron inestabilidades tipo excursión y el margen para DNBR fue encontrado que es un caso más limitado. No se observó susceptibilidad a la densidad de las oscilaciones de ondas a 150% de potencia. Por lo tanto, la inestabilidad del flujo no es relevante para el combustible anular.
4. Relleno del canal de enfriamiento interno. Esto no llevaría a temperatura excesiva del combustible pero llevaría a temperatura excesiva del recubrimiento, de modo que se requeriría el uso de filtros de entrada para los restos.

La investigación fue capaz de demostrar que para cuatro fallas mayores – el Loss of Coolant Accident (LOCA), el Loss of Flow Accident (LOFA), el Main Steam Line Break (MSLB) y el Rod Ejection Accident del combustible anular propuesto se comportó satisfactoriamente.

Las dimensiones óptimas del combustible han sido determinadas principalmente por el análisis térmico-hidráulico y, por lo tanto, desde una perspectiva neutrónica el requerimiento de mantener un largo de ciclo de 18 meses (como se utiliza en los Estados Unidos y el Reino Unido entre otros) a un decaimiento a un 50% más alto requiere un enriquecimiento del combustible más alto que 5w/o uranio-235, el límite de licenciamiento de la mayoría de las plantas de manufactura.

5. ANÁLISIS CRITICO

5.1 Estado de fósiles y renovables

5.1.1 Carbón

Actualmente el 80% de la energía global proviene de combustibles fósiles. **Con la tasa actual del desarrollo global esto resultaría en un aumento de emisiones de CO_2 de 55% entre 2004 y 2030 [63]**. Carbon Capture and Storage (CCS) es una tecnología de proceso para reducir las emisiones de CO_2 de los combustibles fósiles. Actualmente hay experiencia limitada con CCS en plantas generadoras de electricidad comercial, aunque una cantidad de pruebas para plantas de carbón y de gas con CCS están en varias etapas de planificación en Europa, Australia y Norteamérica.

El CO_2 puede ser almacenado en formaciones geológicas o, en algunos casos, tiene valor comercial; por ejemplo se ha usado para mejorar la recuperación del aceite y la recuperación de metano en lechos de carbón. Sin embargo, si el CO_2 tiene un valor, el proceso permanecerá muy no económico. **Uno de los mayores desafíos para la amplia aceptación del CCS es el alto costo con un retorno no real**. Se requiere el deseo y el dinero político si se va a lograr progreso; los países desarrollados no están cómodos con la tecnología de modo que aún no están deseosos de implantarla.

Las mejoras en eficiencia de la planta es más económica y, por lo tanto, se espera que progrese más rápido que la tecnología de captura del carbón. Las tecnologías existentes y en desarrollo que llevarán a una reducción en gases el efecto invernadero producidos por el uso de carbón son:

- Mejoramiento del carbón
  Se estima que el lavado/secado y briquetado puede reducir el CO_2 por más de un 5% [64]. Esto involucra el uso de tecnologías establecidas ya en uso en los Estados Unidos, Europa, Japón y Australia.

- Mejoras de eficiencia en plantas de potencia existentes
  Se ha demostrado que alcanzando las eficiencias térmicas por un 40% puede reducirse el CO_2 por mucho más de un 22% [64].

- Tecnologías avanzadas
  El uso de los ciclos de vapor supercríticos y ultra-supercríticos ha permitido que la eficiencia térmica en las plantas continúe aumentando, generando

menores emisiones. Esta tendencia en el desarrollo de la planta se espera que continúe. El carbón pulverizado también es un factor en las mejoras de eficiencia de las plantas y ahora está siendo ampliamente usada. Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) tiene el potencial para alcanzar mayor eficiencia que las calderas de carbón pulverizado SC y USC pero los sistemas ya están recién comenzando su comercialización y se espera que sea necesario un desarrollo posterior.

- Tecnologías de emisiones casi cero (near zero emission technologies)
  Los sistemas de post combustión separan el gas CO_2 producido por la combustión soplada por aire de cualquier combustible fósil; los sistemas de pre-combustión procesan el combustible primario en un gasificador para reducir una síntesis del gas, que luego se convierte y se separa en dos corrientes de gas (el CO_2 para almacenamiento y el hidrógeno como combustible); y los sistemas de combustión oxi-combustible que usa la combustión de soplado de oxigeno para producir un gas combustible con una concentración mucho más alta de CO_2 que la combustión convencional soplada por aire. La captura de carbón resulta en eficiencias menores para plantas de potencias y, por lo tanto, más carbón es quemado.

5.1.2 Energía eólica

En el año 2007 la capacidad de potencia eólica aumentó más de 26% en todo el mundo, llegando a una capacidad total instalada en todo el mundo de 93,710 MW [65]. La repotenciación (el reemplazo de turbinas más antiguas y pequeñas por menos turbinas más grandes) se hace cada vez más prominente. La potencia del viento en combinación con la potencia hidroeléctrica reversible (bombeado) hace la integración en los sistemas eléctricos más factible. La tecnología de granjas eólicas offshore parece progresar con la experiencia operacional e investigación para dirigir la investigación a su uso en alta mar y aguas profundas. El bajo costo de la energía convencional continúa siendo un obstáculo al rápido desarrollo de la eólica.

La capacidad de promedio de una turbina de viento es de aproximadamente 1.8 MWe basado en la experiencia del 2007 [65]. La turbina de viento cuesta entre € 849 /kWe y € 1,300 /kWe llegando a un costo total instalado de € 1000 /kWe a € 2,174 /kWe [65].

5.2 Comparación económica

5.2.1 Comparación de costo de combustibles nucleares y fósiles

El costo relativo de la electricidad generada en las plantas nucleares, de gas, o de carbón varía dependiendo de la ubicación y por lo tanto el acceso a los combustibles fósiles. **El costo de la generación de electricidad de las plantas nucleares incluye el costo de disposición de todos los desechos y el costo de desmantelar la planta al final de su vida útil**. Los costos de desmantelar son de 9 – 15% del costo inicial de la planta nuclear pero cuando se descuenta sobre la planta operando contribuyen <5% al costo de la electricidad generada – 0.1 – 0.2 centavos de dólar/kWh. La energía nuclear tiene el beneficio de costos de ciclo de combustible bajos cuando se compara con los combustibles fósiles.

En el 2005 la OECD/NEA publicó [68] los costos proyectados de la electricidad generada en países de OECD para nuclear, gas y carbón. Los costos de generación nivelados se basaron en un 10% de descuento, una planta con 40 años de vida útil y un factor de carga de 85%. Estos costos excluyen cualquier impuesto al carbón en las emisiones de combustibles fósiles (ver sección 5.3).

Tabla 10 Proyecciones de Costos de Generación de Electricidad en OECD para el año 2010

(Costos en US 2003 cents / kWh)

	Carbón	Gas	Nuclear	Eólico	Hidro
Canadá	4.12	4.36	3.71		-
Estados Unidos	3.65	4.90	4.65	4.78	-
Bélgica	-	5.15	-	7.49	-
República Checa	3.71	5.46	3.71	14.42	7.55
Dinamarca	4.14	-	-	6.6	-
Finlandia	4.45	-	4.22	-	-
Francia	4.42	4.30	3.93	-	-
Alemania	4.09	5.00	4.21	9.48	14.61
Grecia	-	5.30	-	5.42	8.45
Italia	-	5.51	-	10.57	-
Holanda	-	6.26	5.32	12.34	-
Portugal	-	4.33	-	7.5	-
Eslovaquia	5.52	5.83	4.55	-	6.53
Suiza	-	4.65	4.38	-	-

	Carbón	Gas	Nuclear	Eólico	Hidro
Turquía	5.23	4.09	-	-	-
Japón	6.91	6.38	6.86	-	24.19
Corea	2.71	4.94	3.38	-	-
Bulgaria	4.26	-	-	-	-
Rumania	5.15	-	4.93	-	-
Sudáfrica	2.59	4.48	-	-	-
PROMEDIO	**4.35**	**5.06**	**4.44**	**8.73**	**12.27**

En el año 2004, la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido (UK Royal Academy of Engineering) publicó [69] un reporte sobre la comparación de los costos de generación en el Reino Unido. **Éste incluía el costo de back-up o capacidad de respaldo para la generación eólica (que es intermitente dependiendo de la fuerza del viento). Un costo de back-up similar debería incluirse para la generación hidráulica, pero en el estudio del Reino Unido no se incluyó un análisis de los costos de generación hidráulica**.

Tabla 11 Comparación de los Costos de Generación en el Reino Unido

(costos en peniques GB 2004 / kWh)

	Costo Base	Con Back-up *
Nuclear	2.3	n/a
CCGT con quema de gas	2.2	n/a
Carbón pulverizado	2.5	n/a
Carbón con lecho fluidizado	2.6	n/a
Eólica Onshore	3.7	5.4
Eólica Offshore	5.5	7.2

* Con back-up incluye el costo de la capacidad de respaldo para la intermitencia de la generación eólica.

Los valores anteriores son representativos de las condiciones propias de cada país y no necesariamente corresponden a las imperantes en Chile. En Chile no existe un estudio que permita comparar los costos de generación de las diferentes tecnologías utilizadas. Sin perjuicio que las metodologías utilizadas puedan ser diferentes, a continuación se presenta la evolución del Precio Medio de Mercado[1] desde noviembre de 2006 a abril de 2009. Este precio Medio de Mercado considera las diversas tecnologías de generación existentes en el

[1] El precio medio de mercado (PMM) se determina con los precios medios de los contratos informados por las empresas generadoras a la Comisión, correspondientes a una ventana de cuatro meses, que finaliza el tercer mes anterior a la fecha de publicación del precio medio de mercado.

país y los costos asociados a cada una, sin poder separarse para cada tecnología. Al revisarse esta comparación se debe tener en cuenta que el Precio Medio de Mercado no considera sólo los costos de generación, si no también los de transmisión.

Tabla 12 Serie Precio Medio de Mercado Sistema Interconectado Central (PMM SIC)

Fuente: CNE

FECHA DE PUBLICACIÓN DE PMM	VENTANA DE 4 MESES	Fijación Precio de Nudo	PMM Base SIC [$/kWh]	PMM SIC [$/kWh] *	Var % Respecto PMM Base
02 de Noviembre de 2006	Mayo 2006 - Agosto 2006	Octubre 2006	28.714	28.714	0.00%
01 de Diciembre de 2006	Junio 2006 - Septiembre 2006	Octubre 2006	28.714	28.296	-1.46%
02 de Enero de 2007	Julio 2006 - Octubre 2006	Octubre 2006	28.714	27.274	-5.02%
01 de Febrero de 2007	Agosto 2006 - Noviembre 2006	Octubre 2006	28.714	27.179	-5.35%
01 de Marzo de 2007	Septiembre 2006 - Diciembre 2006	Octubre 2006	28.714	27.455	-4.38%
02 de Abril de 2007	Octubre 2006 - Enero 2007	Octubre 2006	28.714	28.127	-2.04%
02 de Mayo de 2007	Noviembre 2006 - Febrero 2007	Abril 2007	30.025	30.025	0.00%
01 de Junio de 2007	Diciembre 2006 - Marzo 2007	Abril 2007	30.025	31.922	6.32%
03 de Julio de 2007	Enero 2007 - Abril 2007	Abril 2007	30.025	33.648	12.07%
01 de Agosto de 2007	Febrero 2007 - Mayo 2007	Abril 2007, Indexación Julio 2007	33.648	35.932	6.79%
03 de Septiembre de 2007	Marzo 2007 - Junio 2007	Abril 2007, Indexación Julio 2007	33.648	38.265	13.72%
01 de Octubre de 2007	Abril 2007 - Julio 2007	Abril 2007, Indexación Septiembre 2007	38.265	41.472	8.38%
02 de Noviembre de 2007	Mayo 2007 - Agosto 2007	Octubre 2007	43.517	43.517	0.00%
03 de Diciembre de 2007	Junio 2007 - Septiembre 2007	Octubre 2007	43.517	44.169	1.50%
02 de Enero de 2008	Julio 2007 - Octubre 2007	Octubre 2007	43.517	43.813	0.68%
01 de Febrero de 2008	Agosto 2007 - Noviembre 2007	Octubre 2007	43.517	43.530	0.03%
03 de Marzo de 2008	Septiembre 2007 - Diciembre 2007	Octubre 2007	43.517	43.910	0.90%
01 de Abril de 2008	Octubre 2007 - Enero 2008	Octubre 2007	43.517	45.451	4.44%
02 de Mayo de 2008	Noviembre 2007 - Febrero 2008	Abril 2008	49.414	49.414	0.00%
02 de Junio de 2008	Diciembre 2007 - Marzo 2008	Abril 2008	49.414	50.813	2.83%
01 de Julio de 2008	Enero 2008 - Abril 2008	Abril 2008	49.414	52.887	7.03%
01 de Agosto de 2008	Febrero 2008 - Mayo 2008	Abril 2008	49.414	54.127	9.54%
01 de Septiembre de	Marzo 2008 - Junio 2008	Abril 2008, Indexación	54.127	52.833	-2.39%

FECHA DE PUBLICACIÓN DE PMM	VENTANA DE 4 MESES	Fijación Precio de Nudo	PMM Base SIC [$/kWh]	PMM SIC [$/kWh] *	Var % Respecto PMM Base
2008		Agosto 2008			
01 de Octubre de 2008	Abril 2008 - Julio 2008	Abril 2008, Indexación Agosto 2008	54.127	52.946	-2.18%
03 de Noviembre de 2008	Mayo 2008 - Agosto 2008	Octubre 2008	52.190	52.190	0.00%
01 de Diciembre de 2008	Junio 2008 - Septiembre 2008	Octubre 2008, Indexación Noviembre 2008	52.190	51.664	-1.01%
02 de Enero de 2009	Julio 2008 - Octbre 2008	Octubre 2008, Indexación Noviembre 2008	52.190	52.797	1.16%
02 de Febrero de 2009	Agosto 2008 - Noviembre 2008	Octubre 2008, Indexación Noviembre 2008	52.190	54.225	3.90%
02 de Marzo de 2009	Septiembre 2008 - Diciembre 2008	Octubre 2008, Indexación Noviembre 2008	52.190	55.670	6.67%
01 de Abril de 2009	Octubre 2008 - Enero 2009	Octubre 2008, Indexación Noviembre 2008	52.190	57.097	9.40%

* Valor real a la fecha de publicación considerando el IPC del segundo mes anterior a la señalada fecha.

Por otra parte, los nuevos proyectos de generación que se han presentado ante el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental corresponden a los siguientes:

Tabla 13 Proyectos presentados al SEIA

Fuente: Elaboración propia en base a datos del SEIA

Central	Tipo	Potencia (MW)	Inversión (MMUS$)
Patache	Térmica a carbón	110	150
Los Vientos	Eólica	99	0.02
Aguas Calientes	Hidráulica	24	80
Río Puelche	Hidráulica	50	140
Canal Bío Bío	Hidráulica	7	12
Achibueno	Hidráulica	135	285
Maqueo	Hidráulica	400	1000
Las Dichas	Eólica	16	30

Los costos de operación no son informados para cada caso, por lo que no es posible estimar el costo total de la generación. Sin perjuicio de lo anterior, puede establecerse que la inversión promedio para las centrales hidráulicas en Chile es de 2,49 MMUS$ / MW.

5.2.2 Costos del Front End del ciclo de combustible nuclear

El Front End del ciclo de combustible nuclear abarca la compra de mineral de uranio, la conversión del mineral de uranio en hexafluoruro de uranio, el enriquecido del contenido de uranio-235 del uranio hasta aproximadamente 4.5 $^{w}/_{o}$ y la fabricación del combustible incluyendo la conversión del hexafluoruro a dióxido de uranio y presión y sinterización de los pellets. De acuerdo al World Nuclear Association (WNA) los costos del Front End del ciclo del combustible para Enero del 2007 fueron:

Tabla 14 Costos del Front End

Uranio	$53 / kg
Conversión	$12 / kg
Enriquecimiento	$135 / SWU
Fabricación	$240 / kg
Total	$1787 / kg

Combustible enriquecido al 4.5 $^{w}/_{o}$ del uranio natural requiere 6.3 a 7.3 Separative Work Units (SWU) por kilogramo [70]. Para un LWR con una descarga por lotes el consumo de 45 GWd/te y una eficiencia térmica de un tercio para la conversión de la potencia térmica a la potencia eléctrica, esto equivale a 0.5 centavos de dólar/kWh.

En un estudio previo [71] el NEA Uranium Group propuso una inflación del precio del uranio en términos reales de 1.2% por año hasta el 2040. Para el enriquecimiento se asumió que los precios podían permanecer constantes en términos reales como mejoramiento de tecnología (enriquecimiento láser) sin inflación de costos. Similarmente la inflación del precio en la fabricación del combustible fue nula aumentando el combustible consumido y reduciendo la demanda de fabricación.

Para el combustible CANDU no hay requerimiento de enriquecimiento y el costo de fabricación en moneda de 1991 se cotizó a US$ 65/Kg [71]. El bajo costo de fabricación se debe al diseño más simple y al más alto rendimiento en la fabricación de la planta. Sin embargo, el menor costo de fabricación es contra balanceado por la menor salida alcanzable (8.3 GWd/te). Esto equivale a un costo de combustible nuclear a nivel de Front End de 0.22 centavos de dólar/kWh al valor de la moneda en 1991.

5.2.3 Costos del Back End del ciclo de combustible nuclear

El WNA ha informado [71] cifras comparativas para el costo de reprocesamiento basado en datos de BNFL y Cogema y disposición directa basado en costos para Suecia de SKB. Basado en los valores de la moneda en 1991 los costos de reprocesamiento son de €860 / kg U; mientras que los costos de disposición directas son €840 / kg U. A una tasa de descuento de 5% los costos del ciclo del combustible nivelado son 0.623 €cents / kWh y 0.546 €cents / kWh respectivamente. Estos datos se aplican al combustible PWR de 42.5 GWd/te.

Ambos, el costo de opción de procesamiento y el costo de opción de disposición directa incluyen el costo de disposición del Vitrified High level Waste (VHLW) asociado con cada opción; la disposición del VHLW será de responsabilidad de Chile bajo los actuales acuerdo internacionales y el costo incluido en el estudio de WNA es un estimado basado en un estudio separado OECD/NEA en el costo de desecho alto-nivel dispuesto en depósitos geológicos; el costo para la disposición VHLW en el caso tomado fue de €90 / kg U pero en un estudio de sensibilidad se consideró que podría ser tan alto como €580 / kg U. Sin embargo, **debido al descuento de los costos de disposición VHLW se hace una muy pequeña contribución al costo del ciclo de combustible nivelado**.

La opción de reprocesamiento incluye créditos para el reciclado de uranio y plutonio. La diferencia en los costos del ciclo de combustible nivelados de 10% está dentro de la duda del costo estimado y de los costos operacionales de la planta de potencia.

Los costos para BNFL y Cogema representan los costos de organizaciones maduras con una larga historia y experiencia en el reprocesamiento en THORP en Sellafield en el Reino Unido y en UP3 en La Hague en Francia; también ellos consideran un libro de ordenes de 20 a 30 batches de descarga PWR por año; ellos no reflejan los costos de puesta en marcha para una nueva planta de reprocesamiento en Chile que inevitablemente será más alto. También los costos de reprocesamiento sólo cubren el costo de transporte (€50 / kg U) dentro del área de Europa y el transporte marítimo de Chile al Reino Unido o Francia sería más alto. Por comparación directa los servicios directos de disposición no están disponibles actualmente en el mercado mundial ya que cada país elige su propio enfoque.

La opción de disposición directa está basada en el sistema sueco desarrollado por SKB; éste involucra la encapsulación y la disposición del combustible gastado en latas de cobre sólido de 100mm de espesor.

El estudio de WNA también surgieron los intervalos de incertidumbre para cada opción, a saber:

Reprocesamiento	0.52 – 0.71 €cents / kWh
Disposición directa	0.43 – 0.63 €cents / kWh

Esto ilustra que **no existen diferencias significativas de costos entre las opciones de Back End para el ciclo de combustible PWR. Similares costos del ciclo de combustible pertenecerían a una estación de potencia BWR**.

Para el combustible CANDU se ha dado un costo de encapsulación en valores de moneda de 1991 [71] de US$ 73 / kg HM; mientras que el Front End del costo del ciclo del combustible era de 0.22 US cents/kWh lo que da un costo total de ciclo de 0.29 US cents/kWh a un 5% de descuento en la moneda de 1991.

5.3 Impacto Ambiental

5.3.1 Comparación de las emisiones de carbón de combustibles nucleares y fósiles

La Comisión Europea [72] ha publicado los resultados de una evaluación de las emisiones de dióxido de carbón equivalente del ciclo de vida de las tecnologías de diferente generación. El ciclo de vida incluye las emisiones de carbón de los materiales, fabricación de componentes y transporte previo a la construcción y del proceso de construcción.

Tabla 15 Emisiones de dióxido de carbón equivalente del ciclo de vida de las tecnologías de diferente generación

Tecnología Generación de Potencia	Emisiones del Ciclo de Vida Kg CO_2(eq)/MWh
CCGT	420
CCGT con captura y almacenamiento de carbón	145
Ciclo combinado de petróleo	585
Carbón – Pulverizado	820
Carbón – Pulverizado con captura y almacenamiento de carbón	270
Carbón – Lecho fluidizado	960
Nuclear	15
Eólico on-shore	11
Eólico off-shore	14
Hidro	6

Con la captura de carbón y la tecnología de almacenamiento existe una reducción en la eficiencia de la planta de alrededor 10% que se refleja como un aumento en la nivelación del costo de generación.

Tabla 16 Impacto de la Tecnología de Captura de Carbón en la Eficiencia y Costo de Plantas de Generación

Tipo de Planta	Eficiencia	Costo de Electricidad $€_{2005}$ / MWh
CCGT	58%	~110
CCGT con captura y almacenamiento de carbón	49%	~135

La Comisión Europea también ha proporcionado una proyección para el costo del carbón para 2020 y 2030, a saber:

Tabla 17 Proyección del Impuesto al Carbón

Año	Impuesto al Carbón
2020	€ 41 / t CO_2
2030	€ 47 / t CO_2

La captura de carbón y la eficiencia del almacenamiento ha sido asumido al 85% como el propuesto por el Panel Internacional sobre el Cambio Climático y se ha asumido un valor de € 20 por tonelada de dióxido de carbono capturado y almacenado.

5.3.2 Costos externos de las tecnologías nuclear, fosil y renovables

La Comisión Europea ha patrocinado un proyecto de investigación, designado ExternE, sobre los 'costos externos' de la generación de potencia por una variedad de tecnologías [73]. Los costos externos tienen en cuenta el daño al medio ambiente incluyendo la degradación de los edificios y el impacto en la salud humana. Las categorías de impacto incluidas en el análisis de costo son:

Tabla 18 Impactos considerados en proyecto ExternE

Categoría del Impacto	Contaminante
Salud Humana – mortalidad	SO_2, NO_x, O_3, partículas de aerosoles, Benceno, partículas diesel, Ruido, Riesgo de Accidentes
Salud Humana –morbosidad	O_3, SO_2, CO, Benceno, partículas diesel, Ruido, Riesgo de Accidentes
Material de Edificios	SO_2, Deposición ácida
Cosechas	SO_2, NO_x, O_3
Calentamiento Global	CO_2, CH_4, N_2O, N, S
Pérdidas de amenidad	Ruido
Ecosistemas	Deposición ácida, deposición por nitrógeno

Los costos externos en € cents por kWh en los países europeos están dados en la tabla 19. Estos costos externos son específicos de cada lugar y reflejan las diferentes tecnologías.

Tabla 19 Costos externos de diferentes tecnologías de generación de potencia en diferentes países europeos

País	Carbón	Petróleo	Gas	Nuclear	Hidro	Eólica
Austria			1 – 3		0.1	
Bélgica	4 – 15		1 – 2	0.5		
Alemania	3 – 6	5 – 8	1 – 2	0.2		0.05
Dinamarca	4 – 7		2 – 3			0.1
España	5 – 8		1 – 2			0.2
Finlandia	2 – 4					
Francia	7 – 10	8 – 11	2 – 4	0.3	1	
Grecia	5 – 8	3 – 5	1		1	0.25
Irlanda	6 – 8					
Italia		3 – 6	2 – 3		0.3	
Holanda	3 – 4		1 – 2	0.7		
Noruega			1 – 2		0.2	0 – 0.25
Portugal	4 – 7		1 – 2		0.03	
Suecia	2 – 4				0 - 0.7	
Reino Unido	4 - 7	3 - 5	1 - 2	0.25		0.15
PROMEDIO	**5.7**	**5.7**	**1.8**	**0.4**	**0.4**	**0.2**

Basado en el promedio sobre todos los países, se observa que el carbón y el petróleo son los más dañinos al medio ambiente con un costo externo de € cent 5.7 / kWh y los nucleares e hidro son mucho más bajos con € cent 0.4 / kWh. Si estos valores son agregados a los costos nivelados de generación presentados en la Sección 5.2.1, entonces el costo total de vida de generación para cada tecnología, excluyendo los costos de desarme, excepto para la generación nuclear son presentados en la tabla 20.

Tabla 20 Promedio de costos nivelados de generación para países OECD

Item	Carbón	Gas	Nuclear	Eólica	Hidro
Costo Nivelado de Generación	4.35	5.06	4.44	8.73	12.27
Costos Externos	5.7	1.8	0.4	0.2	0.4
Costos Totales	10.1	6.9	4.8	8.9	12.7

6. DIFERENTES OPCIONES PARA ADQUIRIR COMBUSTIBLE NUCLEAR

6.1 Riesgo del suminitro de combustible

6.1.1 Revisión de la práctica mundial

La expansión de la generación de electricidad a partir de energía nuclear crea presión sobre la cadena de suministro de combustible nuclear con la demanda potencialmente excediendo la oferta. **La International Atomic Energy Agency (OIEA) [74] y un número de países que usan la energía nuclear han propuesto un acercamiento multi lateral a los servicios de ciclo de combustible nuclear basados en el acceso equitativo para todos los países**. Estas propuestas fueron discutidas en la OIEA General Conference en Septiembre del 2006. La propuesta de la OIEA involucra tres niveles:

i. El mercado existente basado en los términos comerciales existentes.
ii. Garantías de respaldo de los proveedores de los servicios de enriquecimiento y de fabricación avalados por el Gobierno asociado.
iii. Una reserva de uranio de bajo enriquecimiento en una o varias ubicaciones bajo el control de la OIEA y del estado proveedor.

Previo a esto, en Septiembre del 2005 [75] Estados Unidos se comprometió a usar 17 toneladas de uranio altamente enriquecido para preparar uranio bajamente enriquecido para asegurar suministros confiables de combustible nuclear para países que renuncien a construir instalaciones de enriquecimiento y reprocesamiento. Esto fue además ampliado en febrero de 2006 cuando el US DoE estableció que un objetivo de GNEP es asegurarse que las naciones que estén de acuerdo con renunciar a sus propias tecnologías de enriquecimiento y reprocesamiento tendrían acceso confiable al combustible nuclear.

Al mismo tiempo, en Febrero del 2006, [75] la Federación Rusa propuso la creación de un sistema de centros internacionales proporcionando servicios de enriquecimiento sobre una base no discriminatoria y bajo el control de la OIEA. Esto tuvo un seguimiento en Junio del 2007 cuando la Federación Rusa ofreció levantar una reserva de 120 M toneladas de uranio de bajo enriquecimiento en su instalación de Angarsk que estaría bajo el control de la OIEA y para el uso por los estados miembros de la OIEA. Chile se convirtió en estado miembro de la OIEA [76] en 1960.

Desarrollos adicionales involucran la entrega de Estados Unidos de $ 50 M en Diciembre del 2007 y de los Emiratos Árabes [75] proporcionando un adicional de $ 10 M para fundar las bases de un Banco de Combustible Nuclear. El concepto de Banco de Combustible Nuclear

aún se está desarrollando; pero a la fecha no sen hecho llamadas acerca de él por ningún estado miembro de la OIEA, de modo que el concepto permanece sin ser probado.

6.2 Estrategías de suministros

Los países que no tienen un suministro de servicios de combustible nuclear 'doméstico' mitigan el riesgo de interrupción de este suministro teniendo contratos a largo plazo con proveedores de servicios de componentes y mantienen un material flotante en las instalaciones del fabricante del arreglo de combustible. Esto puede cubrir yellowcake y hexafluoruro de uranio enriquecido y típicamente dos recargas de combustible terminado que da típicamente un margen de tres o cuatro años contra la falta del combustible. Con todos los proveedores de servicios de combustible hasta los proveedores de la fabricación de combustible, es posible contratar con dos o más proveedores poniendo diversidad y redundancia en la cadena del suministro. También es posible contratar dos proveedores de servicio de arreglos de fabricación pero esto presenta asuntos de seguridad y licencia con un núcleo de combustible mixto de diferentes proveedores. Los diseños de combustible necesitan ser compatibles en términos de caída de presión de núcleo y coeficientes de reactividad. Las instalaciones que operan LWR se mueven desde un proveedor a otro y manejan la transición cargando combustible; pero esto usualmente se emprende por economía o beneficios en la eficiencia del combustible. Este arreglo de un núcleo de transición es el caso más extremo, porque aún permaneciendo con el mismo vendedor de combustible, el diseño del combustible evoluciona y, por lo tanto, la responsabilidad de la compatibilidad del nuevo combustible residente en el núcleo es de del vendedor, al asegurar que la evolución de su diseño es compatible. El capital en estas compañías claramente se vuelve menos significativo mientras mayor es el tamaño del número de plantas de potencia nucleares compatibles que tiene la instalación/país. No hay experiencia a la fecha, que no sea a través de los asuntos NPT con India, de un país o instalación que no tenga suficiente combustible nuclear para que sus plantas de potencia funcionen. De hecho, cuando hubo una huelga de mineros de carbón en el Reino Unido en los 80’s, fueron las plantas nucleares de potencia las que permitieron al país continuar con la operación de las fabricas.

6.3 Comparación con Carbón, Derivados del Petróleo y Gas Natural

Los recursos fósiles son limitados y están concentrados en un número restringido de países. Los riesgos de seguridad energética global han aumentado bruscamente porque:

- Las demandas de importación de petróleo han crecido abruptamente en países en desarrollo.
- El decreciente margen entre la oferta y demanda que ha hecho subir los precios.
- Volatilidad del precio del petróleo proveniente de las tensiones internacionales.
- Terrorismo y trastornos de potenciales proveedores.

La distribución de recursos naturales no es para nada uniforme alrededor del globo. El petróleo es principalmente exportado desde Arabia Saudita y Rusia (a pesar de que los Estados Unidos figura tercero en la producción de petróleo en el mundo es un importador neto de éste). El gas es principalmente exportado desde Rusia, Canadá y Noruega. El carbón es principalmente producido en China, los Estados Unidos, India y Rusia.

Tabla 21 Producción de petróleo de 2007

Fuente: Energy Information Administration (EIA) website
Conversión 1000 barriles = 158.978 m^3
Densidad 858.1 kg/m^3

Posición	País	Producción (miles de barriles por día)	Producción (Mt por año)*
1	Arabia Saudita	10,248	510
2	Rusia	9,874	492
3	Estados Unidos	8,457	421
4	Irán	4,034	201
5	China	3,912	195
6	México	3,506	175
7	Canadá	3,422	170
8	Emiratos Árabes Unidos	2,948	147
9	Venezuela	2,670	133
10	Kuwait	2,616	130
11	Noruega	2,565	128
12	Nigeria	2,353	117

Posición	País	Producción (miles de barriles por día)	Producción (Mt por año)*
13	Brasil	2,277	113
14	Argelia	2,174	108
15	Irak	2,097	104

Tabla 22 Exportación de petróleo en 2007

Fuente: Energy Information Administration (EIA) website
Conversión 1000 barriles = 158.978 m^3
Densidad 858.1 kg/m^3

Posición	País	Miles de barriles por día	Mt por año
1	Arabia Saudita	8,525	425
2	Rusia	6,866	342
3	Emiratos Árabes Unidos	2,564	128
4	Noruega	2,557	127
5	Irán	2,469	123
6	Kuwait	2,340	117
7	Venezuela	2,134	106
8	Nigeria	2,131	106
9	Argelia	1,842	92
10	México	1,630	81
11	Libia	1,530	76
12	Irak	1,438	72
13	Angola	1,379	69
14	Kazajstán	1,145	57
15	Qatar	1,033	51

Tabla 23 Producción de gas en 2007

Fuente: Energy Information Administration (EIA)
Conversión 1 pie cúbico = 0.0283 m^3
1 U.S trillón = 1 x 10^{12}

Posición	País	Producción (trillones de pies cúbicos)	Producción (Gm^3)
1	Rusia	23.064	653
2	Estados Unidos	19.278	546
3	Canadá	6.604	187
4	Irán	3.952	112
5	Noruega	3.270	93
6	Argelia	3.026	86
7	Holanda	2.696	76
8	Arabia Saudita	2.680	76
9	Reino Unido	2.553	72
10	China	2.446	69
11	Turkmenistán	2.432	69
12	Uzbekistán	2.302	65
13	Malasia	2.278	64
14	Qatar	2.112	60
15	Indonesia	1.978	56

Tabla 24 Exportaciones de gas en 2007

Fuente: Energy Information Administration (EIA)
Conversión 1 pie cúbico = 0.0283 m^3
1 U.S billón = 1 x 10^9.

Posición	País	Billones de pies cúbicos	Gm^3
1	Rusia	8,377	237
2	Canadá	3,789	107
3	Noruega	3,041	86
4	Argelia	2,098	59
5	Holanda	1,966	56
6	Turkmenistán	1,745	49
7	Qatar	1,388	39
8	Indonesia	1,151	33

Posición	País	Billones de pies cúbicos	Gm^3
9	Malasia	1,116	32
10	Estados Unidos	822	23
11	Nigeria	749	21
12	Australia	703	20
13	Trinidad y Tobago	639	18
14	Egipto	554	16
15	Uzbekistán	495	14

Tabla 25 Producción de carbón en 2007

Fuente: Energy Information Administration (EIA)
Conversión 1 tonelada corta = 0.91 toneladas métricas

Posición	País	Millones de toneladas cortas	Mt
1	China	2,804	2544
2	Estados Unidos	1,146	1039
3	India	529	479
4	Australia	428	389
5	Rusia	347	314
6	Sudáfrica	283	256
7	Alemania	228	207
8	Indonesia	180	163
9	Polonia	162	147
10	Kazajstán	103	94
11	Turquía	84	76
12	Canadá	76	69
13	Colombia	75	68
14	Grecia	73	67
15	Republica Checa	70	63

Se ha predicho que la diversificación geográfica del petróleo y del carbón empeorará dadas las reservas actualmente conocidas se están concentrando en Arabia Saudita y Rusia. Además, con la excepción de Arabia Saudita e Irak, y en menor extensión Rusia, hay pocos prospectos para aumentar la producción de petróleo, ya que todas las otras naciones productoras de petróleo se encuentran a su máxima capacidad.

Aumentos substanciales en el uso del gas natural para producir electricidad han sido predichos en el mediano plazo. El gas natural es ampliamente usado para reemplazar a las plantas a carbón, dado que es una tecnología más limpia. A medida que la demanda mundial por gas aumente, habrá un aumento de la competencia entre los países por el gas ruso.

Tabla 26 Producción global de uranio [2007]

Fuente: WNA website

Posición	País	% de la producción global
1	Canadá	23
2	Australia	21
3	Kazajstán	16
4	Rusia	8
5	Níger	8
6	Namibia	7
7	Uzbekistán	6
8	Estados Unidos	4

Existen aproximadamente 4.7 millones de toneladas de uranio disponible para explotar a US$ 130 por kg. **Basado en la tasa de demanda de la generación de electricidad nuclear del 2004 esta cantidad es suficiente para 85 años**.

Sin embargo, los recursos de uranio mundial en total son considerados más altos. Basado en la evidencia geológica y el conocimiento del uranio en fosfatos habría más de 35 millones de toneladas disponibles para la explotación. **El uranio es fácil de almacenar y la densidad de potencia relativa comparada con los combustible fósil implica que es posible guardar por muchos años el combustible en el lugar (ya sea el combustible en etapas intermedias, por ejemplo uranio concentrado / yellowcake, hexafluoruro de uranio o como arreglos de combustible terminado). No es lo mismo con el carbón, el petróleo y el gas y los recursos de uranio están muchos más geográficamente y físicamente diversificados que el petróleo y el gas.**

7. INFRAESTRUCTURA DE GESTIÓN

7.1 Explotación minera y Yellowcake

Actualmente existen tres diferentes procedimientos para la extracción del mineral de uranio, a saber:

- Rajo abierto
  En minas de tajo abierto, el suelo de la superficie y rocas son removidas barrenando y detonando a la exposición el cuerpo del mineral que está en la mina mediante la detonación y la excavación por cargadores y camiones tolva. El agua es altamente usada para suprimir los niveles de polvo se emiten al aire.

- Mina subterránea
  Si el uranio está demasiado bajo la superficie para habilitar una mina de rajo abierto, se puede usar una mina subterránea con túneles y chimeneas cavados para acceder y remover el mineral de uranio. Hay menos pérdida de material removido de las minas subterránea que en las minas a rajo abierto, sin embargo este tipo de mina expone a los trabajadores bajo la tierra a los más altos niveles de gas radón.

- Lixiviación in-situ
  Lixiviación in-situ (in-situ leaching, ISL) o minería de solución de, es ejecutada por líquidos bombeados hacia abajo (ácido débil o alcalino débil dependiendo de la concentración de calcio en el mineral) a través de pozos de inyección ubicados a un lado del depósito de uranio, a través del depósito, y hacia arriba a través de pozos de recuperación en el lado opuesto del depósito – mineral recuperado por filtración. ISL es también usado en otros tipos de extracción de metales tales como el cobre. ISL es a menudo de costo efectivo porque evita costosas excavaciones, y se pueden implementar más rápidamente que las minas convencionales. Sin embargo, no es apropiado para todos los depósitos de uranio, ya que la roca receptora debe ser permeable a los líquidos (como a menudo es el caso en arenisca).

Una vez que se extrae el mineral de uranio se debe procesar en el lugar dado que la mayoría de los minerales de uranio tienen un muy bajo contenido de uranio. Se usa una

combinación de procesos mecánicos (chancado y molienda) y químico (lixiviación). A continuación se muestra un flujo básico.

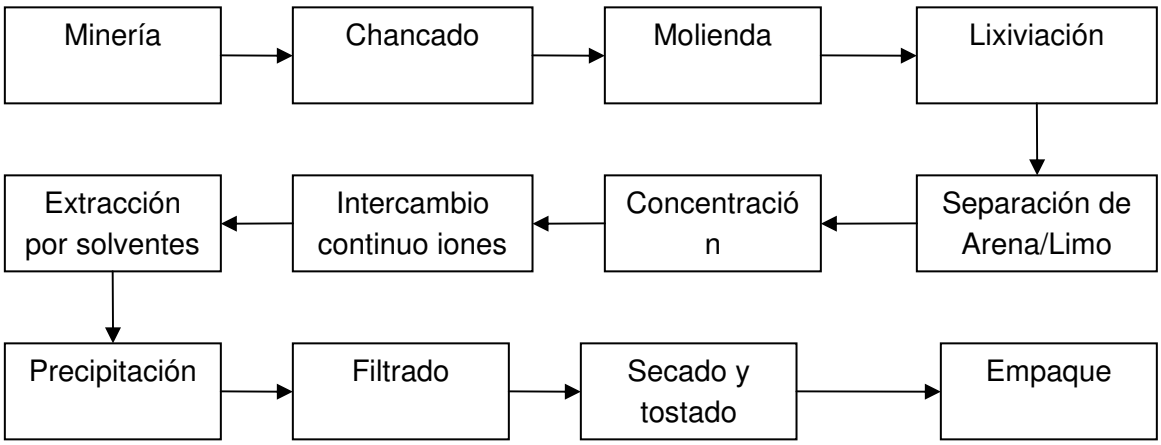


Figura 11 Proceso minero del Yellowcake

El mineral primero es chancado hasta hacerlo polvo fino pasando el mineral de uranio a través de chancadores y molinillos para producir "pulpa del mineral". Este es luego procesado con soluciones concentradas de ácido, alcalino, o peroxido para lixiviar el uranio. El yellowcake es el que queda después de secarlo y filtrarlo. El yellowcake producido por la mayoría de las plantas modernas es realmente de color café o negro, no amarillo; el nombre viene del color y textura de los concentrados producidos por las primeras operaciones de la minería.

El consumo actual es de aproximadamente 65,000 tU/año. Así, los recursos de uranio medidos actualmente (5.5 Mt) en la categoría de costos algo menores a los precios vigentes y usados sólo en reactores convencionales, son suficientes al menos por 80 años. Esto representa un horizonte de recursos algo mayor que lo típico para la mayoría de los minerales. Exploración adicional y precios más altos pueden, sobre la base del actual conocimiento geológico, llevar a recursos adicionales a los que se están explotando actualmente. También un aumento en el precio puede acelerar la explotación de torio como una opción paralela de combustible nuclear y aumentar el interés en cerrar el ciclo de combustible para permitir el uso de RepU y plutonio en combustible MOX.

Entre los años 1985 y 2005, hubo muy poca exploración de uranio, pero actualmente se ha desplegado un aumento significativo de esfuerzo en la exploración que puede resultar en un

aumento de los recursos económicos conocidos. Sobre la base de analogías con otros minerales metálicos, es posible esperar que una duplicación del precio desde los niveles actuales cree aproximadamente un aumento multiplicado por diez en recursos medidos, en el tiempo, debido al aumento de exploración y a la reclasificación de recursos conocidos considerando qué es económicamente recuperable.

7.2 Adquisición del servicio de conversión

En la "conversión" el concentrado de uranio es purificado desde la mina/planta. En el proceso se disuelve el yellowcake en ácido nítrico y es filtrado antes de ser entregado al proceso de extracción por solventes contracorriente usando fosfato tributilo (TBP) en kerosén sin olor. El uranio pasa a la fase orgánica en la cual es lavado por ácido nítrico diluido y subsecuentemente concentrado por evaporación. Los residuos y las impurezas permanecen en la fase acuosa. La solución de nitrato concentrado de uranio es entonces calcinada para producir tritóxido de uranio. El producto en esta etapa es ~ 99.95% puro. Posterior a esto se puede permitir un proceso 'húmedo' o 'seco'; todos los servicios de conversión fuera de Estados Unidos utilizan el proceso húmedo.

El trióxido de uranio es reducido a dióxido de uranio con hidrógeno. El proceso de convertir el dióxido de uranio en hexafluoruro de uranio involucra dos etapas. En la primera considerando hidroflurinación, el dióxido de uranio reacciona con fluoruro de hidrógeno a 300 – 500ºC para generar la "sal verde", tetrafluoruro de uranio. En la segunda etapa el tetrafluoruro de uranio reacciona con gas fluoruro generado electrolíticamente para producir hexafluoruro de uranio en una reacción exotérmica.

El hexafluoruro de uranio es producido para la etapa de enriquecimiento, porque es una sustancia volátil a bajas temperaturas y porque el fluoruro tiene solo un isótopo, luego toda la diferencia de la masa molecular se debe a isótopos de uranio.

Si no se requiere enriquecimiento, como el combustible CANDU, entonces no se requiere la hidrofluorinación y las subsiguientes etapas y el dióxido de uranio es enviado a la planta de fabricación de combustible para hacer pellets incrustados de dióxido de uranio.

De acuerdo al OIEA la actual capacidad de servicio de conversión de uranio en todo el mundo como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27 Capacidad actual del servicio de conversión de uranio en el mundo

Fuente: OIEA Nuclear Fuel Cycle Information Service February 2009.

País	Instalación	Capacidad t HM / año UF_6	Capacidad t HM / año UO_2
Argentina	Cordoba Conversion Facility		175
Argentina	Pilcaniyeu Conversion Facility	62	
Brasil	Fabrica de Combustivel Nuclear		120
Canadá	Cameco – Port Hope	12500	
Canadá	Cameco – Port Hope		2800
China	Lanzhou	400	
Francia	Comurhex Malvesi	14000 *	
Francia	Comurhex Pierrelatte	14000	
Pakistán	Islamabad		0
Federación Rusa	Angarsk	20000	
Federación Rusa	Ekaterinburg	4000	
Reino Unido	NDA Springfields Line 4 Hex Plant	6000	
Reino Unido	NDA Springfields Main Line Chemical Plant	10000 *	
Reino Unido	NDA Springfields OFC IDR UO2 Line		550
Estados Unidos	Metropolis / Converdyn	17600	

* Plantas productoras de tetrafloruro de uranio.

La capacidad para la producción de hexafluoruro de uranio es 74,562 toneladas de Metal Pesado por año (t HM / año) y la capacidad para producción de dióxido de uranio no enriquecido es 3,645 t HM / año. En Francia están en construcción dos nuevas plantas, Comurhex II Malvesi, para la producción de tetrafloruro de uranio y Comurhex II Pierrelatte para la producción de hexafluoruro de uranio cada una con capacidad de 15,000 t HM/año.

Los precios para la conversión de yellowcake para el hexafluoruro de uranio son citados para estar alrededor de US$ 8,000 por tonelada de uranio en la moneda del año 1991. [77]

7.3 Adquisición del servicio de enriquecimiento

La capacidad mundial de las plantas de enriquecimiento nuclear civil de escala comercial de acuerdo a la OIEA [79] es de 48,455 Separative Work Units (SWU's) por año. Estas están en la lista en la tabla 28 por país, tecnología y capacidad de diseño.

Tabla 28 Capacidad mundial de enriquecimiento civil de escala comercial

Fuente: OIEA Nuclear Fuel Cycle Information System February 2009.

País	Instalación	Tecnología	Capacidad de Diseño SWU / año
China	Lanzhou 2	Centrífuga	500
China	Shaanxi Uranium Enrichment Plant	Centrífuga	500
Francia	EURODIF (Georges Besse 1)	Difusión	1.0800
Alemania	URENCO Germany GmbH	Centrífuga	1.800
Japón	Rokkasho Uranium Enrichment Plant	Centrífuga	1.050
Holanda	URENCO Nederland	Centrífuga	3.500
Pakistán	Kahuta	Centrífuga	5
Federación Rusa	Angarsk	Centrífuga	1.000
Federación Rusa	Ekaterinburg	Centrífuga	7.000
Federación Rusa	Krasnoyarsk	Centrífuga	3.000
Federación Rusa	Seversk	Centrífuga	4.000
Reino Unido	URENCO Capenhurst	Centrífuga	4.000
Estados Unidos	Paducah Gaseous Diffusion	Difusión	11.300
Total			48.455

Las instalaciones de enriquecimietno bajo las salvaguardas de la OIEA actualmente existentes están en Argentina (planta piloto), Brasil (1 planta piloto, 2 plantas laboratorio), China, Alemania (1 planta comercial, 1 planta laboratorio) Japón, Holanda y el Reino Unido; las instalaciones de enriquecimiento que no están bajo salvaguardas de la OIEA actualmente existentes están en Francia, India, Irán, Paquistaní, la Federación Rusa y los Estados Unidos.

Las principales tecnologías son de difusión gaseosa (histórico) y gas centrífugo (tecnología actual). En la difusión gaseosa, el hexafluoruro de uranio gaseoso es bombeado a través de una membrana porosa de níquel usualmente instalado como un tubo. La molécula más liviana ^{235}U pasa a través de la membrana más rápidamente que la molécula más pesada ^{238}U. Las membranas de níquel están instaladas en cascada y el enriquecimiento para el grado del reactor (3.5 – 4.5 w/0 ^{235}U) requiere sobre mil etapas. El proceso de bombeo consume una gran cantidad de energía. En el proceso de gas centrífugo el hexafluoruro de uranio es forzado a través de una serie de centrífugas (cilindros rápidamente en rotación). Las moléculas ^{238}U más pesadas se mueven hacia la pared del cilindro mientras que las moléculas ^{235}U más livianas permanecen más cerca del centro. El gas de la región central es removido y bombeado a otra centrífuga para enriquecimiento adicional en ^{235}U. Este proceso usa menos energía que el proceso de difusión gaseoso y es usado en plantas modernas de enriquecimiento. Otras técnicas incluyendo el enriquecimiento láser, la separación química y la separación de plasma no han alcanzado madurez comercial. Una planta de separación aerodinámica de tamaño industrial operó por 10 años en la República de Sudáfrica, pero probó para no ser competitiva con la tecnología centrífuga y que fue cerrada.

Fuera de la Federación Rusa y los Estados Unidos, EURODIF y URENCO son los proveedores más grandes de los servicios de enriquecimiento comercialmente disponibles. Ambos son diferentes formas de entidades multinacionales. EURODIF está en Francia pero involucra cinco países participantes – Bélgica, Francia, Irán, Italia y España. Los derechos de propiedad intelectual de la tecnología residen solamente con la nación anfitriona Francia, aunque los otros miembros tienen un porcentaje de acciones del producto en proporción a sus inversiones en la Compañía. AREVA opera la planta Georges Besse de difusión gaseosa que funciona a un promedio anual de salida de ~ 8 millones SWU's. AREVA reemplazará la planta de difusión gaseosa con la tecnología centrífuga de URENCO pero permanecerá competitiva con URENCO en el mercado de servicios de enriquecimiento. URENCO fue formada por Tratado de Almelo en 1971 y fue una combinación de tres plantas de enriquecimiento de base centrífuga ubicada en Capenhurst en el Reino Unido, Almedo en Holanda y Gronau en Alemania. Juntas ellas han funcionado a un promedio anual de salida de ~ 6 millones SWU's. En los Estados Unidos de América, las United States Enrichment Corporation (USEC) está actualmente mezclando 500 toneladas de uranio altamente enriquecido ruso para liberar al mercado del ciclo de combustible nuclear civil. USEC también está invirtiendo en una nueva tecnología centrífuga "avanzada" que sería operada desde el 2010 y se anticipa alcanzará una producción total de 3.5 millones de SWU por año en el 2011.

Las empresas generalmente toman contratos a largo plazo con proveedores de servicios de enriquecimiento de modo que poco se sabe de la economía del proceso de enriquecimiento; sin embargo, el precio público para un SWU en el 2007 fue de ~ US$ 135.

7.4 Adquisición del servicio de producción de arreglos de pellet cerámicos de combustible

Los pellets de combustibles y los servicios de producción de barras son generalmente conocidos como servicios de fabricación de combustible; la entrada de material al fabricante del combustible es UO_2 en polvo en el caso de producción no enriquecida de combustible o hexafluoruro de uranio enriquecido en el caso de producción de combustible enriquecido.

En el caso de hexafluoruro de uranio [81] el primer paso involucra la conversión para enriquecer el dióxido de uranio en polvo. Esto normalmente involucra tres pasos de proceso:

i. Hidrólisis del hexafluoruro de uranio en el agua.
ii. La producción de un compuesto de uranio intermedio.
iii. El cierre térmico del compuesto de uranio al dióxido de carbono.

Históricamente los procesos 'húmedos' han sido usados para la conversión pero la tendencia moderna ha sido usar un proceso 'seco'. Existen dos procesos 'húmedos' que están designados con el nombre del compuesto intermedio de uranio producido, a saber 'diurinato de amonio' (diuranate ammonium, ADU) y 'carbonato de uranilo de amonio' (ammonium uranyl carbonate, AUC).

En el proceso ADU el hexafluoruro de uranio es hidrolizado con una solución de hidróxido de amonio formando un precipitado de diurinato de amonio. El diurinato de amonio es posteriormente reducido con hidrógeno en un horno para producir dióxido de uranio. Una parte clave del proceso ADU es la distribución del tamaño de partícula del diurinato de amonio precipitado.

El proceso alterno involucra la reacción del hexafluoruro de uranio con hidróxido de amonio y carbonato de amonio para producir carbonato de uranilo de amonio. Siguiendo esto el carbonato de uranilo de amonio es objeto de la reducción térmica con el hidrógeno para producir dióxido de uranio. Este proceso AUC fue desarrollado primero como un proceso comercial en Alemania por un predecesor de Siemens.

El proceso 'seco' es llamado el Integrated Dry Route (IDR) fue primero desarrollado por British Nuclear Fuels Limited, anteriormente el United Kingdom Atomic Energy Authority en los años 60's. El IDR ha sido incorporado al New Oxide Fuel Compex (NOFC) en la planta de combustible NDA-Westinghouse Springfiels. La tecnología patentada ha sido licenciada por BNFL para uso en Francia y en los Estados Unidos [[84].

En el proceso IDR el hexafluoruro de uranio se descompone por vapor supercalentado a uranilo de fluoruro sólido (UO_2F_2). Posteriormente a esto el uranilo de fluoruro es sujeto a piro hidrólisis con vapor e hidrógeno para producir dióxido de uranio [81, 82].

Franco-Belge Fuel Company opera un proceso IDR similar en Pierrelatte, Francia. En Richland en los Estados Unidos y en Lingen en Alemania, AREVA opera un proceso de ruta 'seca' similar, pero éste fue desarrollado y patentado por Siemens Power Corporation. GE-H también usa la tecnología de ruta 'seca' para la conversión pero está basado en una etapa única de reducción e hidrólisis.

Una vez que el hexafluoruro de uranio se ha convertido a dióxido de uranio en polvo, éste alimenta a una prensa uniaxial donde se prensa para formar un 'pellet verde'. En esta etapa a veces se agrega un aglutinante junto con un formador de poro previo al prensado. Posterior al prensado, se inspeccionan los 'pellets verdes' para defectos previo a alimentar un horno de sinterización donde los 'pellets verdes' son sinterizados para producir pellets de dióxido de uranio de la densidad y fortaleza apropiadas. El formador de poro generalmente es un compuesto orgánico que se descompone tempranamente en el proceso de sinterización para dejar un vacío. El BNFL ha desarrollado un compuesto de formador de poro propio llamado CONPOR (CONtrolled PORosity) Esto produce pellets de combustible muy estables, en los cuales la densificación del pellet de combustible ocurre tempranamente en la irradiación del reactor es controlado y es limitada de modo que aumenta la fiabilidad del combustible. (En los primeros años de la operación de PWR un número de vendedores de combustible experimentaron fallas de combustible en forma temprana en el reactor debido a la densificación del pellet de combustible con colapso de revestimiento consecuente; estas fallas ocurren raramente con la adición del formador de poro para estabilizar la densificación del interior del reactor).

Si la corriente de alimentación del fabricante de combustibles es dióxido de uranio no enriquecido, el proceso de conversión es bypaseado y el dióxido de uranio alimenta la prensa uniaxial.

Posterior a la sinterización de los pellets, son molidos para alcanzar las dimensiones requeridas para la inserción en los largos tubos de aleación de Zirconium (Zircaloy) de ~3 m que comprenden el revestimiento de barras de combustible. Los tubos de Zircaloy son presurizados con gas helio y sellados en cada extremo con tapones de Zircaloy; cada barra de combustible contiene aproximadamente 300 pellets de combustible. Dentro del espacio de barras de combustible se deja en la parte superior del pellet para acomodar los gases producto de la fisión durante la irradiación de combustible. En algunos diseños de barras de combustible se inserta un 'plenum spring' para mantener el arreglo de pellets de combustible bajo compresión axial y evitar espacios en el arreglo de pellets de combustible. El Zircaloy es una aleación de zirconio y aproximadamente 1.45% de lata; Zircaloy-2 generalmente es usado por el recubrimiento de barras de combustible BWR, mientras que Zircaloy-4 es usado para el recubrimiento de barras de combustible PWR. Recientes desarrollos involucran la transición a zirconio – 1% de aleación niobio conocido como Zirlo™ por Westinghouse, M5™

por AREVA y E110™ en Rusia. Estas nuevas aleaciones proporcionan mejor ejecución en la forma de mayor quemado.

La capacidad de todo el mundo de fabricación de barras de combustible y los servicios de fabricación de arreglos para el combustible de reactor de agua es de 15,893 toneladas de Metal Pesado por año como se indica en la tabla 29.

Tabla 29 Capacidad mundial de servicios de fabricación de combustible para reactores enfriados por agua

Fuente: OIEA Nuclear Fuel Cycle Information Service (February 2009).

País	Instalación	Tipo de combustible	Capacidad de Diseño t HM / yr
Argentina	Ezeiza Nuclear Fuel Manufacture Plant	PHWR	270
Bélgica	FBFC International – LWR	PWR	500
Bélgica	FBFC International – MOX	PWR, BWR MOX	100
Brasil	FCN Resende – Unit 1	PWR	240
Canadá	GE Canada Peterborough Facility	CANDU	1200
Canadá	Cameco – Zircatec Precision Ind. – Port Hope	PHWR	1200
China	CANDU Fuel Plant	PHWR	200
China	Yibin Nuclear Fuel Element Plant	PWR	200
Francia	AREVA NP Romans	PWR Rep U	1400
Francia	AREVA NC Melox	PWR MOX	195
Alemania	AREVA NP Lingen	LWR	650
India	NFC – Hyderabad (BWR)	BWR	24
India	NFC – Hyderabad (PHWR)	PHWR	270
India	NFC - Hyderabad (PHWR) - 2	PHWR	300
Japón	Global Nuclear Fuel – Japan Co Ltd	BWR	750
Japón	Nuclear Fuel Industry Ltd (NFI Kumatori)	PWR	284
Japón	Nuclear Fuel Industry Ltd (NFI Tokai)	BWR	250
Japón	Mitsubishi Nuclear Fuel Ltd	PWR	440

País	Instalación	Tipo de combustible	Capacidad de Diseño t HM / yr
	(MNF)		
Republica de Corea	KEPCO CANDU Fuel Fabrication Plant	PHWR	400
Republica de Corea	KEPCO PWR Fuel Fabrication Plant	PWR	400
Pakistán	Chashma	PHWR	20
Rumania	Pitesti Fuel Fabrication (FCN)	CANDU-6	200
Federación Rusa	Machine – Building Plant (WWER)	VVER-1000, PWR	620
Federación Rusa	Novosibirsk Chemical Concentrates Plant (Assembly)	VVER-1000	1000
España	Fabrica de combustile	PWR, BWR, VVER	400
Suecia	Westinghouse Electric Sweden AB	BWR, PWR	600
Reino Unido	NDA Springfields OFC LWR Line	PWR, BWR, VVER-440	330
Estados Unidos	Westinghouse Columbia	PWR	1150
Estados Unidos	AREVA NP Lynchburg	PWR	400
Estados Unidos	AREVA NP Richland	BWR, PWR	700
Estados Unidos	General Electric Nuclear Energy Wilmington	BWR	1200
TOTAL			**!Invalid Character Setting**

La capacidad mundial para combustibles de PWR, tal como se ha indicado arriba, es de 6.787 t HM /año y la correspondiente cantidad para combustibles de BWR, VVER y PHWR es de 3.492; 1.553 y 4.060 t HM /años respectivamente.

A julio de 2008, MOX proporcionaba solo alrededor de 2% del combustible nuevo usado. Se espera que esto aumente al 5% para el 2010 [47]. Desde 1963, cuando el combustible MOX fue usado por primera vez en un reactor térmico, aproximadamente 2.000 toneladas han sido fabricadas como combustible e introducidas en plantas nucleares.

7.5 Control Estadísticos de Proceso

El Control Estadístico Multivariable de Procesos (Multivariate Statistical Process Control, SPC) es parte de un mejoramiento continuo de procesos que está dirigido a mejorar la calidad del producto, mejorando la productividad y rediciendo el desecho de proceso [85]. La reducción en el desecho de proceso está relacionada a una reducción en la tasa de rechazo y una reducción en las bodegas de productos en proceso intermedio. Esto último es logrado por la utiliación de la fabricación Just In Time. El SPC usa gráficos de flujo, gráficos Pareto y diagramas Ishikawa para analizar el proceso. El Principio de Pareto está basado en el reconocimiento que la mayoría de los defectos de proceso corresponden a un pequeño número de causas. A menudo es llamado regla 80/20 sobre la base de 80% de los defectos son usualmente producidos por un 20% de las causas. El SPC se ha aplicado por la mayoría de los proveedores de servicios de fabricación de combustible alrededor del mundo y Westinghouse afirma que ha mejorado la fiabilidad del combustible a 99.995% [86, 87, 88].

7.6 Gestión de Desechos de Alto Nivel

Existe consenso en la industria nuclear en todo el mundo que los Desechos Radioactivos de Alto Nivel (High-Level Radioactive Waste), ya sea en la forma de Combustible Nuclear Usado, o como productos de fisión separados en las actividades de reprocesamiento, deben ser embalados y dispuestos en un depósito geológicamente profundo.

7.6.1 Vitrificación

La vitrificación es el proceso de tornar al desecho radioactivo en vidrio. Está siendo usado o siendo investigado y desarrollado en muchos países alrededor del mundo. Es una alternativa para la cementación como un proceso para inmovilización de desecho radioactivo y tiene el beneficio sobre la cementación de una reducción de volumen en el producto de desecho. El vidrio producido por la vitrificación es sellado en latas de acero inoxidable y esta forma de desecho se predice que permanecerá estable mientras se lleva a cabo el decaimiento radioactivo.

En Hanford, en Estados Unidos, Bechtel está diseñando dos fundiciones de vitrificación de desechos Radioactivos de Bajo Nivel (Low-Level Radioactive Waste) [89]. Cada una de las fundiciones de Alto Nivel es de 40 toneladas de capacidad y operan a 1,150ºC. Las fundiciones miden 4.27 m x 4.27 m x 3.35 m de altura. Las latas de acero High-Level Waste tienen un diámetro de 0.61 m y 4.42 m de altura, pesando sobre 4 toneladas. Se espera que

cada lata contenga 30% del volumen de High-Level Waste y se espera que las dos fundiciones produzcan 480 latas por año. Las fundiciones de Low-Level Waste son fundiciones de 200 toneladas con dimensiones de 6.1 m x 9.1 m x 4.88 m de altura. Se espera que cada una de las latas Low-Level Waste contengan 20% del volumen de Low-Level Waste y se espera que las fundiciones produzcan 1,100 latas por año.

Taiwan ha estado desarrollando el proceso de vitrificación para la inmobilización y almacenaje de Low-Level Waste dado que actualmente el país no tiene una instalación de disposición de Low-Level Waste [90].

La India tiene dos instalaciones de inmovilización en operación en Trombay y Tarapur y una tercera en construcción en Kalpakkam [91]. Esta tercera instalación será usada para inmovilizar High-Level Waste del procesamiento de combustible mixed-carbide. El proceso usará vidrio borosilicato que BARC dice “es bueno para retener los radionúclidos y tiene baja propiedad de filtración”.

En Japón, el Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL) opera un centro de almacenamiento vitrificado de High-Level Waste en Rokkasho [92]. Actualmente éste almacena High-Level Waste vitrificado que es producido por el reprocesamiento en el Reino Unido y en Francia de combustible nuclear japonés usado. Las latas de acero de los procesos europeos tienen un diámetro 0.43 m, 1.34 m de altura y un peso aproximado de 500 kg. Japón, que al igual que Chile, es un país sísmicamente activo; está desarrollando un proyecto para el diseño y construcción de un depósito geológico profundo para sus desechos nucleares y está programado para entrar en operación en los 2030’s.

La Federación Rusa tiene una planta de vitrificación en el complejo Mayak [93]. Es diferente a la tecnología occidental en que produce un vidrio de fosfato más que vidrio de borosilicato. El ultimo horno de vitrificación, EP-500/4, fue puesto en funcionamiento en Marzo del 2007.

En Francia el AREVA NC opera tres plantas de vitrificación de crisol caliente, AVM en Marcoule, R7 y T7 en La Hague, y ha producido más de 11,000 envases de vidrio [94]. AREVA NC en asociación con CEA y otros están trabajando para extender el proceso al procesamiento de Low- e Intermediate-Level Waste. Actualmente las instalaciones francesas tratan el HLW del combustible con una tasa de quemado de 33 GWd/te pero para un combustible quemado con mayor tasa podría ser necesario aumentar la temperatura de fundición del crisol para aumentar la carga de cerio y molibdeno en el vidrio. En consecuencia, están siendo realizadas pruebas en una fundición de calor inducido enfriado con agua (muro frío) en el cual la temperatura de proceso puede aumentar de 1,150ºC a ~ 1,500 ℃. Los italianos, a través de ENEA, están desarrollando la tecnología de la vitrificación para procesar los desechos de proceso históricos. En la tecnología de la

vitrificación del Reino Unido está en uso en la planta de Sellafield para la inmovilización de licores HLW producidos en el reprocesamiento de combustible.

7.6.2 Almacenamiento de Combustible Usado

La OIEA [95] ha conducido un Proyecto de Investigación Coordinado sobre el almacenamiento de combustible. El informe cubre los resultados de un proyecto que analiza el comportamiento de un contenedor de almacenamiento de combustible usado roto en un depósito geológico. La conclusión de este estudio es "La duración química del combustible usado es aceptable bajo las condiciones estudiadas. El tiempo de vida esperado del combustible usado como desecho sería como de 104 – 108 años, de este modo se indica que el combustible usado es un buen desecho y una efectiva barrera para liberar radionúclidos por períodos muy largos"

7.7 Gestión de Repositorios

Internacionalmente existe un consenso técnico incontenible que la mejor opción disponible para la administración a largo plazo de HLW, ILW y el combustible usado (si no hay intención para ser reprocesado) es su disposición en un depósito geológico ubicado muchas cientos de metros bajo tierra donde estará aislado de la interferencia humana, cambios de clima y daños naturales por cientos de miles de años.

En contraste, LLW y algunos ILW de corta vida pueden ser dispuestos en vertederos de superficie o cercanos a la superficie, diseñados con adecuado control institucional. Estos tienen la intención de proporcionar contención para solo unos pocos cientos de años y no son el foco de este documento.

7.7.1 Guía Internacional

El OIEA ha tomado un liderazgo activo en la guía de desarrollo sobre gestión de depósitos y seguridad de evaluación, y el Waste Technology Section of the Department of Nuclear Energy mantiene en desarrollo un programa de trabajo enfocado a la disposición geológica [96]. La OIEA publicó en el 2003 un informe basal [97] sobre la base científica para la disposición geológica que establece los asuntos claves en los términos del diseño y operación de un depósito, y está actualmente desarrollando una guía sobre el diseño y la

planificación para la construcción de un depósito que se espera que sea publicado posteriormente en 2009/10. La OIEA también ha publicado varios documentos técnicos sobre aspectos particulares de la ubicación geológica y la evaluación de seguridad.

La OECD/NEA también está activa en el desarrollo de la guía internacional, y mantiene un programa de trabajo para ayudar a los países miembros en la administración de HLW y combustible usado [98] y coordina un número de aspectos técnicos y estudios de seguridad a largo plazo. La OECD/NEA ha publicado recientemente un resumen [99] de los desafíos y oportunidades que se observan al implementar un programa de depósito y las expectativas para desarrollos futuros.

7.7.2 Un programa de desarrollo de un repositorio

La experiencia internacional indica que el desarrollo de un depósito geológico para HLW, ILW o combustible usado es un proceso muy largo, que toma típicamente varias décadas. Los únicos depósitos geológicos actualmente operando que aceptan ILW está en Finlandia (el depósito VLJ en Olkiluoto), Suecia (el depósito SFR en Formark) en USA (el depósito WIPP en Nuevo México) y, a la fecha, no hay depósitos en construcción para HLW o combustible usado. El primer depósito de combustible usado a abrirse se espera que sea en Finlandia en el 2020. La Figura 12 da una indicación de un número de programas de depósitos nacionales programados.

Las etapas claves en un programa de desarrollo de depósito genérico son:

1. Diseño conceptual del depósito para el actual y futuro inventario de desechos (actividad y volumen) y condiciones geológicas previstas.
2. Selección y caracterización subterránea detallada de un lugar adecuado.
3. Diseño de ingeniería de detalle para el depósito a teniendo en cuenta de condiciones conocidas de subsuperficie.
4. Evaluaciones de seguridad operacionales y de post-cierre a largo plazo para el depósito para obtener la aprobación de construcción y operación del depósito.
5. Excavación de bóvedas y túneles de disposición bajo la tierra, y construcción de infraestructura de superficie, recibo de desecho y equipo de manipulación de desecho.
6. Operación del depósito y emplazamiento de desechos embalados.
7. Cierre final y sellado del depósito.

De estas etapas, las más problemática y que consume tiempo es a menudo la selección de un lugar adecuado. La experiencia en algunos países (por ejemplo, Reino Unido y Estados Unidos) que adoptaron un proceso de ubicar reservadamente un lugar técnicamente apropiado, es que la oposición pública puede ser muy fuerte y un número de programas de ubicación de lugar han sido parados por esta razón. Por ejemplo, en EE.UU. la construcción del depósito de combustible usado planificado en Yucca Mointain en Nevada, recientemente ha sido detenida por el Presidente Obama debido a la oposición de la población local.

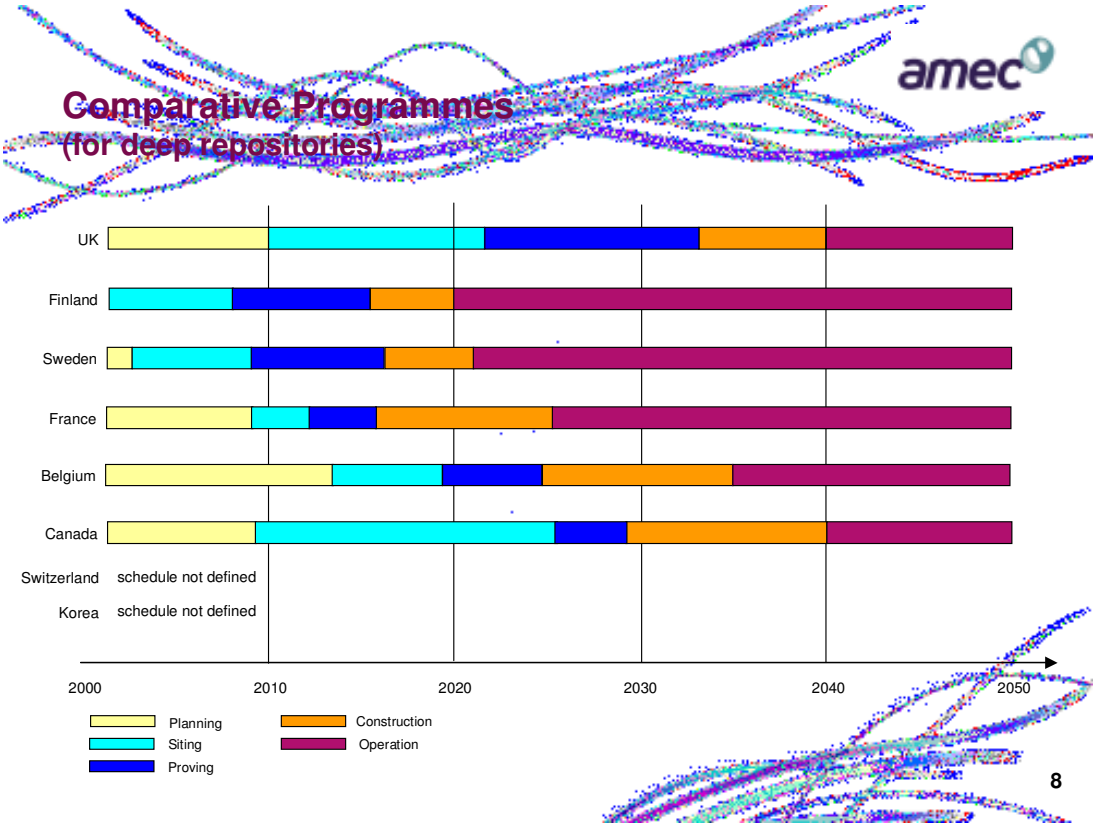


Figura 12 Comparación de diferentes programas de desarrollo de repositorios geológicos profundos

Debido a los problemas de los primeros lugares, la mayoría de los países ahora han adoptado un programa de búsqueda de lugar de depósito que está basado en una aproximación voluntaria, con las comunidades locales que reciben los beneficios financieros y los desarrollos de infraestructura (por ejemplo nuevas carreteras, hospitales, etc.) como beneficio para compensarlos por el depósito. Los ejemplos de programas exitosos en la búsqueda de lugar que ha adoptado un proceso de beneficios voluntarios son en Finlandia y Suecia. En la mayoría de los casos, sin embargo, es típico que las comunidades locales con reactores nucleares existentes sean voluntarias porque ellos tienen alguna familiaridad con los asuntos nucleares.

Después que un depósito es ubicado y construido, el período operacional puede extenderse por muchas décadas de modo que puede aceptar desechos en todo el tiempo de vida operacional de los reactores nucleares. La necesidad para mantener una excavación bajo la tierra abierta para tan largos periodos de tiempo y asegurar el establecimiento de la seguridad nuclear establece un número de condiciones específicas en la roca receptora y en el lugar (ver sección 7.7.4).

Una vez que un depósito es cerrado y vuelto rellenar, y todos los túneles a la superficie están sellados, el depósito es igualmente monitoreado. La seguridad post cierre del depósito no es, sin embargo, dependiente del monitoreo y del sistema de depósito está diseñado para asegurar la seguridad a través de los medios pasivos sin la necesidad de continuar con el control institucional.

7.7.3 Diseño del repositorio y el ciclo de combustible

Se han desarrollado varios diseños diferentes en las últimas décadas pero todos ellos comparten el mismo concepto básico de barrera múltiple donde los desechos son emplazados dentro de una serie de estructuras de ingeniería enlazadas y barreras naturales que actúan en conjunto para aislar el desecho por períodos largos. Los desechos sólidos son embalados en contenedores resistentes a la corrosión para formar un paquete coherente de desecho. Los paquetes de desechos son entonces ubicados a alguna profundidad en las excavaciones del depósito. Los espacios alrededor de los paquetes de desechos son llenados con material de protección apropiado para proporcionar estabilidad estructural, hidráulica y química a largo plazo para el embalaje. La roca receptora proporciona un capullo estable a las barreras de ingeniería y se elige usualmente que tenga bajo porcentaje de flujo de agua subterránea de modo de limitar la probabilidad que los radionúclidos vuelvan a la superficie.

La elección del diseño de las barreraa de ingeniería es, en gran parte, dependiente de si se adopta o no un ciclo de combustible cerrado. En un ciclo de combustible abierto, los principales desechos a ser dispuestos son:

- El combustible usado y los componentes de montaje del combustible asociados.
- Desechos de las operaciones normales del reactor (por ejemplo los filtros HEPA usados para evitar las descargas gaseosas).
- Materiales contaminados y activados durante el cierre final del reactor.

De estos, el desecho más importante (por actividad y volumen) es el combustible usado. En la mayoría de los diseños de depósitos para la disposición de combustible usado, los arreglos de combustible completos son encapsulados en un contenedor metálico grande que está ubicado a intervalos a lo largo de la disposición de los túneles y rodeado por una capa de arcilla de bentonita compactada. Una ilustración del diseño del depósito de combustible usado en Suecia se muestra en la Figura 13. En este diseño, la seguridad del depósito depende de un número de factores claves:

- La protección de cobre del contenedor es inerte y muy resistente a la degradación física y química.
- Si la protección de cobre eventualmente es perforada, el agua subterránea hará que el grueso contenedor interno de fiero se corroa (moho). Esto remueve el oxígeno disuelto del agua subterránea de tal modo que evita que la mayor parte de los radionúclidos en el combustible gastado se disuelvan en el agua, es decir, que la matriz del combustible UO_2 gastado es esencialmente insoluble.
- La amortiguación de bentonita tiene una conductividad hidráulica muy baja de modo que el agua subterránea y cualquier radionúclido que sea liberado desde el combustible solo puede pasar a través de él por una difusión muy lenta más que por advección.

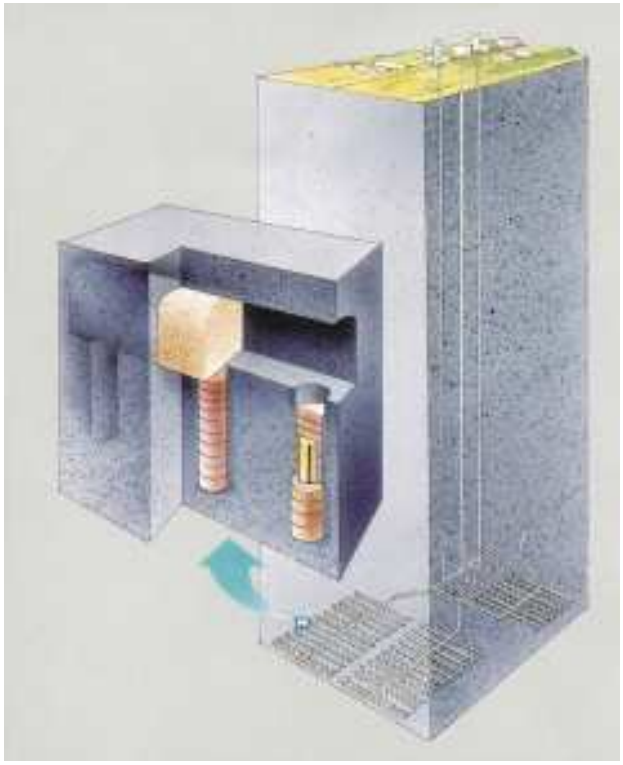


Figura 13 Ilustración del diseño planificado para repositorio de combustible usado en Suecia

(Este adopta un contenedor grande protegido por cobre cubierto por la amortiguación de bentonita compactada)

En un ciclo de combustible cerrado, el combustible usado es reprocesado y no dispuesto, pero el reprocesamiento genera grandes volúmenes de desechos secundarios en tres formas principales:

- Líquido altamente radioactivo refinado que usualmente es vitrificado para formar matrices de vidrio sólido (HLW);
- Materiales orgánicos (celulosa y resinas de intercambio de iones) usados en el tratamiento y procesos de extracción que usualmente son secados y luego inmovilizados en una matriz de base cemento (ILX); y
- Componentes metálicos y virutas generadas al remover los pellets del combustible usado de los arreglos de combustible, que usualmente son cementadas en tambores (ILW).

En la mayoría de los diseños de depósitos para HLW, el vidrio es encapsulado en grandes contenedores de metal y dispuesto en un repositorio, usando el mismo concepto de diseño genérico que para el combustible usado debido a sus similares niveles muy altos de radioactividad.

El ILW cementoso usualmente está ubicado en cajas de acero o concreto y agrupados en grandes silos o bóvedas excavadas, con los espacios vacíos vueltos a rellenar con más concreto o un mortero cementoso. La degradación anaeróbica microbiana inducida de materiales orgánicos, particularmente celulosa, puede generar grandes volúmenes de gas (CO_2 y metano) y de este modo el material de relleno es diseñado para ser poroso para evitar la sobre presión del gas y las fallas mecánicas. Por la misma razón, los embalajes de desechos contienen ILW orgánico necesitan poder ser ventilados del gas. Una ilustración del diseño cementoso del Reino Unido del depósito ILW se muestra en la Figura 14. En este diseño, la seguridad del depósito es dependiente de las condiciones de pH muy altas (alcalino) que son generadas dado que el cemento que se disuelve muy lentamente en el agua subterránea y bajo la cual las condiciones químicas la mayoría de los radionúclidos son pobremente solubles.

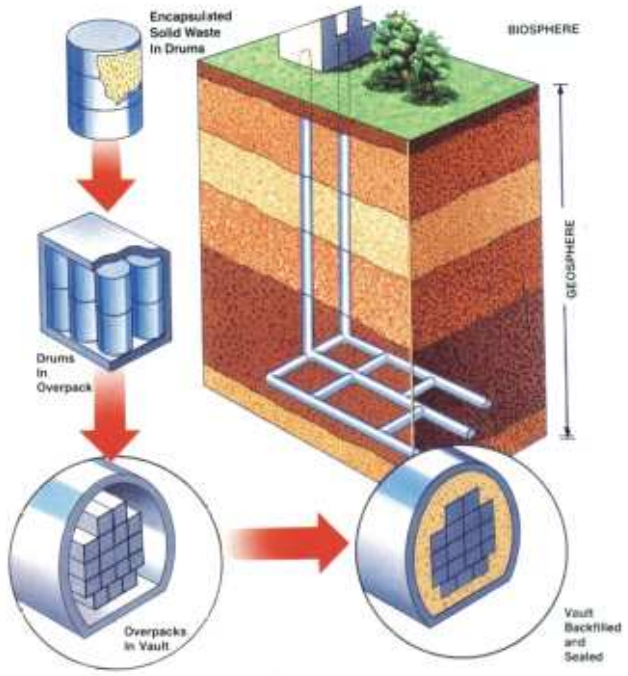


Figura 14 Ilustración del concepto de repositorio propuesto en el Reino Unido para ILW

(en el cual los desechos cementados son embalados en cajas y rodeados por un relleno de mortero cementoso)

El ILW cementoso tendrá que estar dispuesto en un sistema de depósito completamente separado al HLW vitrificado porque el cemento es químicamente incompatible con el vidrio y la bentonita. Las aguas subterráneas hiper-alcalinas (pH > 12) producidas por la disolución

de cemento reaccionarían con la bentonita causando la pérdida de su baja conductividad hidráulica y también causarían que el HLW se vitrifique, permitiendo que se liberen los radionúclidos. Esto significa que se necesitan 2 sistemas de depósito separados para disponer de los desechos de un ciclo cerrado de combustible: uno para el HLW y otro para el ILW cementado.

7.7.4 Condiciones geológicas

Un depósito puede ser construido en diferentes tipos de roca tales como cristalina, arcilla o de sal, pero cada tipo de roca tiene un número de ventajas y desventajas.

Las rocas cristalinas son elegidas para hospedar los depósitos planificados en Finlandia y Suecia. Estas rocas duras, quebradizas están asociadas usualmente con una red de fallas y fracturas que actúan como una red para el flujo de agua subterránea. Deben tomarse las precauciones para que el depósito quede fuera de estas redes para dar la seguridad a largo plazo. Sin embargo, las rocas cristalinas son fuertes y excavar un depósito en ellas en profundidad es relativamente fácil de hacer con la actual tecnología minera.

Las rocas de arcilla son elegidas para recepcionar los depósitos planificados en Francia y Bélgica. Estas rocas son a menudo muy blandas y se deforman plásticamente, implicando que las excavaciones del depósito necesitan refuerzo adicional para mantenerlos abiertos por un largo período de operación haciéndolas más difíciles para construir. El movimiento de agua subterráneas en arcillas plásticas es a menudo sólo por difusión y los minerales de las rocas arcillosas puede retardar la migración de los radionúclidos por atracción de superficie iónica (absorción) haciendo la seguridad a largo plazo más fácil de calcular.

Las rocas de sal son elegidas para recepcionar el existente depósito WIPP en los Estados Unidos y el depósito planificado en Alemania. Como la arcilla, la sal se deforma plásticamente y de este modo las excavaciones de depósitos necesitan ser reforzadas. Las rocas de sal son usualmente secas, sin embargo, sin movimiento de agua subterráneas en ellas y así proporcionan excelente capacidad de aislamiento.

En muchos países la disponibilidad de los tipos de rocas es limitada y el depósito tiene que ser diseñado para considerar las condiciones de cada ubicación. Donde se ubica un depósito bajo la línea de agua en las rocas saturadas de agua, el requerimiento primario de ubicación es para el lento movimiento de agua subterránea para reducir el tiempo de retorno para cualquier radionúclido que migre fuera de las barreras de ingeniería. En algunos países, los repositorios son ubicados cerca de la costa de forma tal que las zonas de descarga del agua

subterránea sea al mar para generar dilución y dispersión adicional en el evento que los radionúclidos sean liberados al medioambiente superficial.

Los riesgos de la naturaleza que puedan impactar en la seguridad del depósito incluyen elevación y erosión, cambio del nivel del mar, glaciación, terremotos y actividad volcánica. Hasta donde sea posible, un depósito debe ser ubicado lejos de áreas donde tales peligros sean probables de ocurrir. Por ejemplo, en Japón, el programa de ubicación del depósito ha tomado en cuenta la mejor evidencia geológica y los modelos predictivos para la distribución futura de actividad volcánica para reducir la probabilidad que el depósito sea directamente afectado. En este caso, se hace una evaluación probable mirando a la posibilidad de ocurrencia de una erupción en diferentes lugares en los próximos 100,000 años.

La actividad volcánica es un tema importante en Chile pero se sabe que los centros volcánicos migran lentamente en respuesta a los procesos de las placas tectónicas, por lo que evitar los lugares de actividad volcánica futura sería posible y puede ser considerado para el proceso de ubicación de un depósito.

Es más difícil evitar los efectos de algunos otros riesgos de la naturaleza. Por ejemplo, los terremotos y la actividad sísmica ocurren en la mayoría de las ubicaciones, si bien es cierto con diferentes magnitudes y frecuencias. En general, los terremotos representan menos peligro para un depósito profundo que otros peligros naturales (por ejemplo, glaciación) porque la presión de confinamiento de la roca receptora implica que hay menos movimiento lateral y vertical que en la superficie. Es una practica normal diseñar el depósito de modo tal de evitar cualquier falla y fractura conocidas en la masa de la roca (identificada durante el programa de caracterización del lugar) y para diseñar la apertura del depósito para reducir los puntos tensos (por ej. ángulos agudos) usando la tecnología de minería subterránea estándar.

7.7.5 Evaluación de seguridad

La seguridad de un depósito necesita ser evaluada en una evaluación de ejecución post-cierre (PA) que considera todas las características claves, eventos y procesos (FEP's) que se piense pueden influir en su seguridad. Debido a los períodos de muy largo plazo que necesitan ser considerados, la evaluación de seguridad que se modela para un depósito es diferente a lo que se ha hecho para otras instalaciones nucleares, y mucha de la evidencia de apoyo ha sido sacado por las extrapolaciones de observaciones hechas a los sistemas naturales, tales como transporte radionúclidos en rocas alrededor de cuerpo mineral de uranio.

Se han desarrollado varias aproximaciones de modelación para realizar cálculos PA, y la OECD/NEA ha desarrollado una guía internacional en esta área.

Se ha completado un número de estudios de PA para los repositorios operacionales y planificados, y han estado sujetos a una revisión regulatoria y de pares. Generalmente se acepta que estas evaluaciones de seguridad proporcionan la garantía apropiada que un depósito puede ser diseñado para generar la seguridad por un muy largo periodo de tiempo. Bajo la evolución normal y esperada, la vasta mayoría de la radioactividad en el desecho se mantendrá dentro de las barreras de la ingeniería, con sólo un pequeño número de radionúclidos móviles que sean capaces de migrar fuera del depósito y alcanzar el medio ambiente de la superficie (por ejemplo, ^{14}C, ^{99}Tc, ^{129}I) de los contenedores de desechos ventilados de ILW. Bajo escenarios alternativos de evolución (por ejemplo, falla mecánica de los contenedores) mayores liberaciones de las barreras de ingeniería pueden ocurrir pero la dilución, dispersión y retención (absorción) de radionúclidos en la roca receptora podrá actuar para reducir las dosis a generaciones futuras a límites aceptables.

7.7.6 Repositorios internacionales

Ha habido un gran interés en el desarrollo de repositorios internacionales donde varios países con pequeños programas nucleares puedan enviar sus desechos para disposición a un repositorio único ubicado en otro país donde las condiciones pueden ser favorables y desde donde se pueden alcanzar las economías de escala y los ahorros de costos. A la fecha no existe depósito internacional planificado u operacional pero la OIEA está examinando los asuntos legales y sociales que podrían surgir al probar la factibilidad de dicho proyecto, y ha publicado un informe técnico sobre el asunto [100] que se espera sea actualizado.

El concepto de depósitos internacionales ha recibido un alto interés en los últimos años en Europa por los ahorros de costos que pueden ser alcanzados entre los países de la anterior Unión Soviética que ahora son miembros de la Comunidad Europea. Similarmente, Rusia ha indicado varias veces que estaría preparada para hospedar un depósito compartido en retorno de un pago financiero pero las consideraciones internacionales por la proliferación y el movimiento de material fisible ha parado el desarrollo adicional de la idea.

8. ASPECTOS LEGALES

8.1 La incorporación de los Tratados Internacionales en Chile

Conforme lo dispone el N° 17 del artículo 32 de la Constitución Política de la República (CPR), corresponde al Presidente de la República *"[c]onducir las relaciones políticas con las potencias extranjeras y organismos internacionales, y llevar a cabo las negociaciones; concluir, firmar y ratificar los Tratados que estime convenientes para los intereses del país, los que deberán ser sometidos a la aprobación del Congreso conforme a lo prescrito en el artículo 54, N.º 1.º"*, el cual por su parte señala que es una atribución exclusiva del Congreso Nacional *"[a]probar o desechar los Tratados Internacionales que le presentare el Presidente de la República antes de su ratificación"*.

Posteriormente, la reforma constitucional del año 2005, agregó a este artículo 54 un segundo inciso, el cual dispone que *"[l]a aprobación de un Tratado requerirá, en cada Cámara, de los quórum que corresponda, en conformidad al artículo 66, y se someterá, en lo pertinente, a los trámites de una ley."* De esta manera el constituyente dejó en claro con esta reforma , una tesis que el Tribunal Constitucional venía sosteniendo hacía ya varios años,[2] esto es: Que los Tratados Internacionales no son ley, sino una fuente de derecho distinta e independiente. Además, conforme al artículo 27 de la Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados, que por cierto forma parte del ordenamiento jurídico chileno desde 1981, nuestro país no puede oponer su derecho interno al cumplimiento de sus obligaciones internacionales. Se sigue entonces, que una vez ratificado un Tratado Internacional, éste no puede ser modificado ni derogado por medio de la promulgación de una ley o cualquier otra norma jurídica de rango inferior. En consecuencia, es posible concluir que los Tratados Internacionales gozan de aplicabilidad preferente por sobre las leyes internas.[3] No obstante, no sucede lo mismo respecto a la Constitución Política, la cual conforme a sus artículos 93 N° 1 y 3 establece la subordinación de los Tratados Internacionales a sus disposiciones, o dicho de otro modo, la supremacía constitucional por sobre los Tratados Internacionales.[4]

Ahora bien, para definir el momento en el cual un Tratado Internacional cobra fuerza jurídica, es menester distinguir, su eficacia conforme al derecho internacional y su vigencia a nivel nacional. Los Tratados Internacionales, desde el punto de vista de las obligaciones que

[2] STC, Rol N° 288, de 24 de junio de 1999, considerando 6°.

[3] NOGUEIRA, Humberto. Reforma Constitucional de 2005 y Control de Constitucionalidad de Tratados Internacionales. Estudios Constitucionales, año 5 N° 1, Universidad de Talca, 2007, pág. 66.

[4] VARGAS, Edmundo. Derecho Internacional Público de acuerdo a la norma y prácticas que rigen en el siglo XXI. Primera edición, año 2007, pág. 219

contrae el Estado en el plano internacional, tienen eficacia directa o entran en vigencia desde el momento en que se deposita el instrumento de ratificación o adhesión según sea el caso, salvo que el mismo Tratado disponga algo distinto para su entrada en vigencia. Por otra parte, a su vez en el plano interno y conforme a la práctica en nuestro país, los Tratados Internacionales cobran vigencia una vez que han sido promulgados y publicados en el Diario Oficial.

Respecto a la ejecutabilidad de los Tratados en Chile, el Tribunal Constitucional ha adoptado la doctrina internacional que distingue entre aquellos Tratados cuyas cláusulas han sido definidas como *"self-executing"* y *"non-self-executing.*[5]*"* En palabras del propio Tribunal, las primeras serían aquellas que *"tienen el contenido y precisión necesarios que las habilita para ser aplicadas sin otro trámite como fuente de derecho interno. En otros términos, son autosuficientes, y entran a la legislación nacional cuando el Tratado que las contiene se incorpora al derecho vigente"* pudiendo por tanto ser invocadas por particulares y aplicadas por los Tribunales de Justicia. Mientras que las segundas, han sido definidas como aquellas que *"requieren para su entrada en vigencia de la dictación de leyes, reglamentos o decretos que las implementen y, en tal evento, las haga aplicables como fuente de derecho interno. En otras palabras, imponen la obligación al Estado, para que en uso de sus potestades públicas, sanciones la norma necesaria, para que por esa vía les dé vigencia efectiva"*.

Podemos concluir entonces, que los Tratados Internacionales en materia de energía nuclear que Chile ha suscrito, se encuentran vigentes en el plano interno desde el momento de su publicación en el Diario Oficial, gozan de aplicación preferente por sobre la ley y en aquellos casos en los cuales sus disposiciones no son suficientemente detalladas y precisas, nuestro país está obligado a dictar las leyes y reglamentos pertinentes para asegurar su cumplimiento.

8.2 Tratados e Instrumentos Internacionales

Chile ha firmado, a abril de 2009, diversos Tratados Internacionales sobre temas relacionados con el uso pacífico de la energía nuclear que van desde acuerdos de cooperación hasta sistemas de notificación en caso de accidente nuclear. Todos estos Tratados fueron examinados y se detallan en el cuadro resumen contenido en el Anexo B de este trabajo. Sin perjuicio de esto, atendido al requerimiento específico del presente informe nos restringiremos al estudio de los efectos y alcance de aquellos Instrumentos

[5] Sentencia N° 309, de 4 de Agosto de 2000, del Tribunal Constitucional. Requerimiento relativo al Convenio N° 169, de la Organización Internacional del Trabajo, sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes.

Internacionales que constituyen el Régimen Internacional de No Proliferación Nuclear, con énfasis en lo que concierne al Ciclo de Combustible Nuclear (en adelante CCN).[6]

Cuando hablamos del Régimen de No Proliferación Nuclear, nos referimos al conjunto de instrumentos y actividades de carácter nacional e internacional destinados a asegurar el uso exclusivamente pacífico de la energía atómica. Forman parte de este régimen los Sistemas de Salvaguardias, Control de Exportaciones, Protección Física y Garantías de No Proliferación.

A continuación se analizan dichos instrumentos.

8.2.1 Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), es un organismo multinacional que tiene por finalidad promover el desarrollo pacífico de la energía nuclear el en mundo.

Nuestro país depositó el instrumento de ratificación del Estatuto de OEIA el 19 septiembre de 1960, el cual fue promulgado por el Decreto N° 544 publicado en el Diario Oficial el 20 de octubre del mismo año.

De acuerdo al artículo III.A.5 de sus Estatutos, el OIEA esta autorizado para *"establecer y aplicar salvaguardias destinadas a asegurar que los materiales fisionables especiales y otros, así como los servicios, equipo, instalaciones e información suministrados por el Organismo, o a petición suya, o bajo su dirección o control, no sean utilizados de modo que contribuyan a fines militares; y a hacer extensiva la aplicación de esas salvaguardias, a petición de las Partes, a cualquier arreglo bilateral o multilateral, o a petición de un Estado, a cualquiera de las actividades de ese Estado en el campo de la energía atómica"*. Conforme a este artículo el OIEA ha concluido numerosos acuerdos de salvaguardias con diversas naciones en el mundo entero, entre ellas, con Chile.

Por su parte, los Arts. XII.A y XII.B regulan los derechos y obligaciones que corresponden al OIEA en relación a la aplicación de salvaguardias, incluida la facultad de realizar inspecciones en instalaciones nucleares de los estados partes. Adicionalmente el Art. XII.C establece las medidas que éste puede adoptar en caso de incumplimiento.

[6] Existen otras materias relacionadas con el uso pacífico de la energía nuclear que quedan fuera del alcance de este estudio, y que son objeto de otros informes, por ejemplo: el régimen de protección radiológica de los trabajadores vinculados a la operación de reactores nucleares

Otras de las funciones del OIEA son:

- Fomentar y facilitar en el mundo entero la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica de la energía atómica con fines pacíficos (Art. III.A.1);
- El suministro de materiales conforme a los artículos III.A.2 y IX del Estatuto; y
- Establecer o adoptar normas de seguridad (Art. III.A.6).

Nos referiremos al OIEA con mayor detalle al estudiar los Acuerdos de Salvaguardias que Chile ha firmado con dicho organismo.

8.2.2 Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina (Tratado de Tlatelolco)

Chile firmó el Tratado de Tlatelolco el 14 de febrero de 1967 sin embargo se valió de la cláusula del art. 28 (hoy art. 29) que le permitió condicionar su participación en él a que fueran partes del Tratado todos los países de Latinoamérica y las potencias nucleares. Finalmente, el 18 de enero de 1994 Chile se incorporó como miembro pleno al Tratado, haciendo uso de la dispensa contemplada en el primitivo artículo 28 N°2, al depositar en México los instrumentos de ratificación de las enmiendas realizadas al Tratado.[7] Éstas a su vez fueron promulgadas junto con la declaración de dispensa, por el Decreto Nº 132 publicado en Chile en el Diario Oficial el 26 de Abril de 1994.

Los objetivos del Tratado de Tlatelolco son:

- Asegurar la ausencia de armas nucleares en la zona de aplicación del Tratado (Art. 4);
- Prohibir e impedir el ensayo, uso, fabricación, producción o adquisición por cualquier medio de toda arma nuclear, por cualquiera de las Partes directas o indirectas, por mandato de terceros o de cualquier otra forma;
- Prohibir el recibo, almacenamiento, instalación, emplazamiento o cualquier forma de posesión de toda arma nuclear, directa o indirectas, por cualquiera de las Partes, por mandato de terceros o cualquier otra forma;
- Contribuir a la no-proliferación de armas nucleares;
- Promover el desarme general y completo;

[7] El Tratado fue objeto de tres enmiendas; la primera que permitió la adhesión de los países del Caribe que no pudieron firmarlo en 1967 por no ser aún Estados independientes; la segunda que permitió la incorporación de Guyana y Belize, y finalmente la última que permitió que en 1994 llegaron a ser miembros plenos Argentina, Brasil y Chile, modificándose ciertas materias que decían relación con la confidencialidad de secretos industriales y los sistemás de verificación de cumplimiento de las obligaciones.

- Promover la utilización con exclusivamente fines pacíficos del material y las instalaciones nucleares sometidos a la jurisdicción de las Partes, de acuerdo a lo señalado en su art. 17.

De acuerdo al Art. 5, para efectos del Tratado se entiende por arma nuclear *"todo artefacto que sea susceptible de liberar energía nuclear en forma no controlada y que tenga un conjunto de características propias del empleo con fines bélicos"*, quedando en todo caso excluidos los elementos que pudiesen utilizarse para el transporte o propulsión de un artefacto, si es separable del mismo.

El Tratado de Tlatelolco también estableció la estructura, organización y funciones del Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe (OPANAL). Este organismo tiene por función asegurar el cumplimiento de las obligaciones del Tratado; convocar conferencias ordinarias y extraordinarias así como reuniones de consulta en asuntos relacionados con los propósitos, medidas y procedimientos establecidos en el Tratado y supervisar el cumplimiento del sistema de control y las obligaciones derivadas del mismo.

En su Art. 12, el Tratado establece un sistema de control cuyo objeto es verificar el cumplimiento de las obligaciones derivadas del mismo. Conforme al art. 13 esta función es encomendada al OIEA, quién está autorizado para ello conforme al art. III.A.5 de su Estatuto. El OIEA ejerce dicha función a través de la celebración de acuerdos bilaterales y multilaterales con los países partes del Tratado de Tlatelolco para la aplicación de salvaguardias a sus actividades nucleares. El Art. 13 del Tratado además, señala que las partes, deberán preparar y enviar informes semestrales al OPANAL y al OIEA en los que se declare que ninguna actividad prohibida por el Tratado ha tenido lugar en sus respectivos territorios. El artículo 14 por su parte, establece la facultad del OPANAL para solicitar a las partes que proporcionen *"información complementaria o suplementaria respecto de cualquier hecho o circunstancia extraordinarios que afecten el cumplimiento"* del Tratado. A su vez, el Art. 16 entrega al OIEA la facultad de efectuar inspecciones especiales frente a la ocurrencia de estos hechos de conformidad con el art. 12 y siguiendo los procedimientos convenidos en los acuerdos de salvaguardias a los cuales se refiere el Art. 13.

Chile cumplió con su obligación derivada del Art. 13 del Tratado de Tlatelolco, el 5 de abril de 1995 al firmar un Acuerdo de Salvaguardias con el OIEA, el cual fue posteriormente complementado por el Protocolo Adicional a dicho acuerdo de fecha 19 de septiembre de 2002. Ambos instrumentos se examinan más adelante en este informe.

8.2.3 Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP)

Chile se hizo parte del Tratado de No Proliferación (TNP) el 25 de Mayo de 1995 mediante el depósito del respectivo instrumento de adhesión ante el Gobierno de los Estados Unidos. El Tratado fue promulgado en virtud del Decreto Nº 797, publicado en el Diario Oficial el 25 de Septiembre de 1995.

El TNP es la piedra angular del régimen de no proliferación nuclear y tiene por finalidad evitar la proliferación de las armas nucleares y la tecnología armamentística, fomentar la cooperación en el uso pacífico de la energía nuclear y promover la meta de conseguir el desarme nuclear, así como el desarme general y completo.

El Tratado distingue entre los Estados poseedores de armas nucleares (EPAN) y los Estados No poseedores de armas nucleares (ENPAN). De acuerdo al párrafo 3 del Art. IX. los primeros son aquellos que han fabricado y hecho explotar un arma nuclear u otro dispositivo nuclear explosivo antes del 1 de enero de 1967[8]. Los segundos en cambio, son todos los demás países.

Conforme al Art. II del TNP, *"[c]ada Estado no poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado se compromete a no recibir de nadie ningún traspaso de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos, sea directa o indirectamente; a no fabricar ni adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos; y a no recabar ni recibir ayuda alguna para la fabricación de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos."*

A fin de promover la meta de no proliferación, el TNP establece básicamente dos mecanismos: la Aplicación de Salvaguardias y el Sistema de Control de Exportaciones e Importaciones. Así, el párrafo 1 del Art. III dispone que los ENPAN partes del TNP están obligados *"a aceptar las salvaguardias estipuladas en un acuerdo que ha de negociarse y concertarse con el Organismo Internacional de Energía Atómica, de conformidad con el Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica y el sistema de salvaguardias de Organismo, a efectos únicamente de verificar el cumplimiento de las obligaciones asumidas por ese Estado en virtud de este Tratado con miras a impedir que la energía nuclear se desvíe de usos pacíficos hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos."* Por su parte, el párrafo 2 del mismo artículo señala que *"[c]ada Estado Parte en el Tratado se compromete a no proporcionar: a) materiales básicos o materiales fisionables especiales, ni b) equipo o materiales especialmente concebidos o preparados para el tratamiento, utilización o producción de materiales fisionables especiales, a ningún Estado no poseedor de armas nucleares, para fines pacíficos, a menos que esos materiales básicos o materiales*

[8] Los EPAN entonces son: China, Francia, Gran Bretaña, Estados Unidos y Rusia.

fisionables especiales sean sometidos a las salvaguardias exigidas por el presente artículo." Esto último ha sido tradicionalmente conocido como el Sistema de Control de Exportaciones del TNP.

Chile en su calidad de país ENPAN se encuentra obligado por el Art. III del TNP a concertar acuerdos de salvaguardias con el OIEA en los términos a que él mismo se refiere. Esta obligación ha sido cumplida por nuestro país con la celebración del Acuerdo de Salvaguardias de 5 de abril de 1995 con el OIEA, de conformidad con el Tratado de Tlatelolco. En otras palabras, la firma del acuerdo de salvaguardias entre Chile y el OIEA conforme al Tratado de Tlatelolco cumple con la obligación establecida en el Art. III del TNP. Lo anterior consta en el acuerdo por intercambio de cartas, entre Chile y el OIEA para la aplicación de salvaguardias en conexión con el TNP de 6 de noviembre de 1995 y 25 de junio de 1996.[9]

Respecto al control de exportaciones e importaciones en nuestro país, conforme a los Arts. 13, 90, 91, 93 y 94 del acuerdo de salvaguardias y párrafos vi) y ix) del art. 2 de su protocolo adicional, Chile se encuentra obligado a suministrar información y notificar al OIEA de cualquier traslado hacía Chile o desde Chile, de los materiales especificados en dichos artículos, sujetos a salvaguardias.

Por su parte, el art. IV reafirma el *"derecho inalienable de todas las Partes en el Tratado de desarrollar la investigación, la producción y la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos sin discriminación"* respetando en todo caso, las obligaciones del Tratado. El mismo artículo agrega que las partes deben facilitar y promover el intercambio de equipos, materiales e información para el desarrollo pacífico de la energía nuclear.

En lo que concierne al Ciclo de Combustible Nuclear, si nos ceñimos al texto e historia legislativa del TNP y su art. IV, podemos concluir que no existe actualmente ninguna barrera jurídica para que un Estado parte de este Tratado desarrolle las distintas etapas del ciclo de combustible nuclear, tanto es así que varios ENPAN lo han hecho[10,11]. No obstante, actualmente existen una serie de limitaciones de índole política en relación a la adquisición de tecnologías sensibles del Ciclo de Combustible Nuclear, lo cual lo cual se examina más adelante en este informe.

[9] http://www.OIEA.org/Publications/Documents/Infcircs/1997/inf476m1.shtml

[10] NPT/CONF.2005/18 Informe del Grupo de Expertos en enfoques multilaterales del ciclo del combustible nuclear, presentado al Director General del OIEA. 9 de Mayo de 2005, para.324.

[11] Para un estudio detallado del desarrollo del CCN en los distintos países ver: Country Nuclear Fuel Cycle Profiles, second Edition 2005. OIEA.

8.2.3.1 El Comité Zangger

El Comité de exportadores del TNP o Comité Zangger es una asociación de países proveedores nucleares, partes del TNP, que ha elaborado una lista (conocida como Trigger List) especificando los materiales y equipos que deben entenderse sujetos a los controles de exportación que establece el párrafo 2 del Art. III del Tratado, y los procedimiento y condiciones bajo las cuales dichas exportaciones pueden ser autorizadas. Lo anterior se conoce como los entendimientos del Comité Zangger, los cuales se encuentran contenidos en dos Memorandos publicados por el OIEA con la serie INFCIRC/209[12]. El primero de ellos, se refiere a los *"materiales básicos o materiales fisionables especiales"* (apartado a) del párrafo 2 del artículo III) y el segundo, se refiere al *"equipo o los materiales especialmente concebidos o preparados para el tratamiento, utilización o producción de materiales fisionables especiales"* (apartado b) del párrafo 2 del artículo III).

Los Entendimientos del Comité Zangger fueron publicados por primera vez en 1974 y desde ese entonces han sido objeto de numerosas enmiendas. Los Entendimientos no son jurídicamente vinculantes, sino que han sido aceptados voluntariamente por los países miembros del Comité, los cuales se comprometieron a aplicarlos mediante la promulgación de leyes nacionales sobre el control de exportaciones. De esta forma, e lComité Zangger ha buscado contribuir al cumplimiento de los fines del Tratado por medio de la armonización de las condiciones de exportación de los países proveedores de materiales o equipos nucleares, evitando así que, por medio de transacciones comerciales, dichos materiales se desvíen a usos no autorizados.

Las principales condiciones establecidas en los entendimientos del Comité Zangger para la exportación de los materiales y equipos nucleares, comprendidos en la *"Trigger List"* son las siguientes:

- Estos materiales o equipos ya sean directa o indirectamente transferidos, producidos, procesados o utilizados en una instalación nuclear, no podrán ser desviados hacía armas nucleares u otros artefactos nucleares explosivos;
- El Estado receptor de dichos materiales y equipos deberá tener en vigor un acuerdo de salvaguardias con el OIEA; y
- En caso de reexportación a un tercer país, el país reexportador deberá asegurarse de que los criterios establecidos en el TNP se aplican en el nuevo Estado receptor

[12] http://www.OIEA.org/Publications/Documents/Infcircs/Numbers/nr201-250.shtml

En el caso de Chile, los Entendimientos del Comité Zangger no han tenido mayor relevancia puesto que nuestro país es parte del TNP, y estos Entendimientos en cambio se aplican principalmente a las transferencias hacía países no miembros de dicho Tratado.[13]

8.2.3.2 Grupo de Proveedores Nucleares (Nuclear Suppliers Group)

El Grupo de Proveedores Nucleares (GSN) o Club de Londres está conformado por un grupo de países suministradores de material nuclear y material relacionado, asociados voluntariamente, no vinculados por Tratado alguno, que pretende contribuir a la no proliferación de armas nucleares a través de acuerdos en la implementación de pautas o condiciones comunes para la exportación de dichos materiales, procurando en todo caso no menoscabar el intercambio y la colaboración en el campo nuclear para fines pacíficos[14].

Las pautas del GSN han sido publicadas por el OIEA con la serie INFCIRC/254. Estas pautas establecen una serie de condiciones para el suministro de material y tecnología nuclear y de doble uso (material y tecnología que tiene usos tanto nucleares como no nucleares, pero que eventualmente podrían ser utilizadas para la producción de artefactos explosivos) con el objeto de configurar un marco común para el control de exportaciones en los países miembros, las cuales a su vez son implementadas por éstos de manera individual por medio de la promulgación de leyes nacionales. Lo anterior, se traduce generalmente en la obligación del país receptor de asegurar de manera formal, que los requisitos exigidos en las pautas se cumplen.

Actualmente las pautas están compuestas por dos partes:

- La primera parte se refiere a la exportación de ítems especialmente diseñados o preparados para uso nuclear[15]. Esto incluye: material nuclear; reactores nucleares y equipo relacionado; materiales no nucleares para reactores; plantas y equipos para el reprocesamiento, enriquecimiento, y conversión del material nuclear o para la fabricación de combustible nuclear y producción de agua pesada; y tecnología asociada con cada uno de estos materiales. Como

[13] Documento NPT/CONF.2005/WP.15. Principios multilaterales del Comité Zangger sobre el suministro de materiales nucleares, 27 de abril de 2005, para. 5.

[14] Los miembros actuales son: Alemania, Argentina, Australia, Austria, Bielorusia, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Canadá, China, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, Kazajstán, República de Corea, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Nueva Zelandia, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Federación de Rusia, Eslovaquia, Eslovenia, Sudáfrica, España, Suecia, Suiza, Turquía, Ucrania, Reino Unido y Estados Unidos de América.

[15] http://www.OIEA.org/Publications/Documents/Infcircs/2007/infcirc254r9p1.pdf

condición de suministro, se exige que los estados receptores de estos ítemes tengan en vigor un acuerdo amplio de salvaguardias con el OIEA, hayan adoptado medidas de protección física y que mantengan además controles sobre la reexportación de estos ítems.

- La segunda parte contiene normas para la exportación de equipo, material, software o tecnología nuclear de doble uso, e incluye una lista especificando dichos ítems[16]. El principio básico acordado por los miembros del GSN es que las transferencias de estos elementos hacia ENPAN, no debe ser autorizada para la utilización en actividades nucleares explosivas ni en ciclos de combustibles que no están sujetos a salvaguardias del OIEA; o en general, cuando haya un riesgo inaceptable de desviación hacia tales actividades, lo cual se ha denominado tradicionalmente como el principio de no proliferación.[17]

Como se puede apreciar, tanto el GSN como el Comité Zangger comparten muchos de sus objetivos y procedimientos, incluso comparten estados miembros, sin embargo las pautas del GSN tienen un alcance más amplio. Si bien la primera parte de estas pautas coincide en gran medida con la *Trigger List* del Comité Zangger y, por tanto, con la lista que figura como Anexo Segundo del Protocolo Adicional al Acuerdo de Salvaguardias, es la segunda parte, aquella que se refiere a los ítems de doble uso, lo que hace la gran diferencia y que a su vez justifica la existencia del GSN. De hecho, esta segunda parte, contrariamente a lo que ocurre con la *Trigger List* del Comité Zangger, no tiene base legal en el TNP, puesto que no cabe dentro de los términos del párrafo 2 del art. III. Asimismo, las pautas del GSN se aplican a las transferencias hacía cualquier ENPAN, sin importar que este país sea parte o no del TNP, a diferencia de lo que ocurre con los entendimientos del Comité Zangger. Por último, las pautas del GSN exigen adicionalmente como condición para el suministro, niveles apropiados de protección física y controles sobre la reexportación de los materiales y tecnología importados.

Para nuestro país, resulta de vital importancia cumplir con las condiciones exigidas por los países miembros del GSN puesto que esta Asociación abarca a la gran mayoría de los países proveedores de material y tecnología nuclear del mundo. De hecho, los dos últimos acuerdos de cooperación en materia nuclear que Chile ha firmado, con Rusia el 2005 y con Corea el 2006, (ambos miembros del GSN) reproducen las condiciones y requisitos acordados por este grupo, expuestas en los párrafos precedentes.[18,19]

[16] http://www.OIEA.org/Publications/Documents/Infcircs/2006/infcirc254r7p2.pdf

[17] INFCIRC/539/Rev.3 del 30 de Mayo de 2005. The Nuclear Suppliers Group: Its Origins, Role and Activities, para.19.

[18] Convenio entre el Gobierno de la República de Chile y el Gobierno de la Federación de Rusia, sobre Cooperación para la Utilización Pacífica de la Energía Atómica. Ver Art. 8.

[19] Convenio de cooperación en los usos pacíficos de la energía nuclear y sus anexos con Corea. Ver arts. XI y

Actualmente, Chile cumple solo con algunos de los requisitos exigidos por el GSN, a saber; mantiene vigente un Acuerdo amplio de salvaguardias con el OIEA, incluido el Protocolo Adicional a dicho Acuerdo, y ha firmado y ratificado la Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares. No obstante, obstante y como se verá más adelante, hace falta aún que nuestro país dicte la legislación complementaria a estos Tratados, especialmente en lo que concierne al control de exportaciones y a la seguridad física de los materiales nucleares.

8.2.4 Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN)

Chile es parte de esta Convención desde el 27 de abril de 1994, fecha en el cual realizó el depósito del instrumento de adhesión ante el Director General del OIEA, entrando por consiguiente en vigor para nuestro país el 27 de mayo del mismo año, conforme a los establecido en su artículo 19 párrafo 1.[20] La Convención fue promulgada en virtud del Decreto Nº 1.121, publicado en el Diario Oficial el 17 de octubre de 1994.

Esta Convención es el único compromiso internacional jurídicamente vinculante en relación a la protección física de materiales nucleares. La CPFMN se centra fundamentalmente en los materiales nucleares cuando son objeto de transporte internacional, pero también contiene otros requisitos importantes relativos a las medidas nacionales de protección física.

En términos generales, la Convención exige a sus miembros que:

- Adopten ciertas medidas de protección física y garanticen determinados niveles de protección física en los envíos internacionales de materiales nucleares;
- Cooperen en la recuperación y protección posterior de materiales nucleares sustraídos;
- Tipifiquen en sus leyes como delitos ciertos actos (por ejemplo, la sustracción de materiales nucleares y la amenaza o tentativa de utilizar materiales nucleares para dañar al público);
- Juzguen o extraditen a los acusados de cometer esos actos.

Dado que el ámbito de aplicación de esta Convención es relativamente limitado, en julio de 2005 fue convocada una Conferencia Diplomática para modificarla y fortalecer sus disposiciones. La enmienda a la Convención pretende hacer jurídicamente obligatorio para

XII.

[20] http://www.OIEA.org/Publications/Documents/Conventions/cppnm_status.pdf

los Estados Partes el proteger las instalaciones nucleares y materiales radioactivos de uso pacífico, ya sea en su uso doméstico, el almacenamiento, así como el transporte. Asimismo, prevé la ampliación de la cooperación entre los Estados de modo de lograr medidas más ágiles y rápidas para localizar y recuperar material nuclear robado u objeto de contrabando, mitigar las consecuencias de un eventual sabotaje, y prevenir y combatir delitos relacionados. Estas enmiendas entrarán en vigor únicamente una vez que hayan sido ratificadas por dos tercios de los Estados Partes de la Convención, lo cual a la fecha no ha sucedido. En Chile, estas enmiendas se encuentran en trámite de aprobación presidencial, en espera de su promulgación.[21]

8.2.4.1 Recomendaciones del OIEA sobre protección física

El OIEA, con la finalidad de fortalecer el régimen de protección física de los materiales nucleares, ha elaborado una serie de recomendaciones autorizadas, formuladas por expertos, aunque no vinculantes, que están contenidas en el documento del OIEA titulado "The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities", cuya última versión se publicó en Junio de 1999 bajo la serie INFCIRC/225/Rev.4(corrected).

Estas recomendaciones se actualizan periódicamente y contienen procedimientos y definiciones, cuyo alcance es más amplio que el que tiene la CPFMN. Entre otras cosas, este documento establece:

- Los elementos de un sistema estatal de protección física de materiales e instalaciones nucleares;
- Los requisitos de protección física frente a la retirada no autorizada de materiales nucleares en uso o almacenados;
- Los requisitos de protección física frente a actos de sabotaje contra instalaciones nucleares y contra materiales nucleares en uso, almacenados o transportados;
- Los requisitos de protección física de los materiales nucleares durante su transporte.

Para Chile, resulta de suma importancia cumplir con estas recomendaciones puesto que los países proveedores de material y tecnología nuclear generalmente han exigido su cumplimiento como condición para proceder al suministro de materiales. De hecho, los dos últimos acuerdos de cooperación en materia nuclear que Chile ha firmado, se refieren a este documento explícitamente. El numeral 2 del Art. 8 del Acuerdo con Rusia establece que

[21] http://sil.congreso.cl/cgi-bin/sil_proyectos.pl?5935-10

deberán tomarse *"medidas para la protección física, no inferior a lo recomendado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA (INFCIRC./225)"*, mientras que el Acuerdo con Corea dispone en su Art. XII que *"[l]as Partes adoptarán las medidas pertinentes a objeto de proporcionar al material nuclear y equipo transferidos conforme a este Convenio un nivel de protección física no inferior al nivel establecido en el documento del OIEA INFCIRC/225/Rev.3, así como en cualquier modificación posterior de ése que las Partes hubieren aceptado."*

Además, los Acuerdos del OIEA sobre proyectos y suministro, y los Acuerdos suplementarios revisados sobre prestación de asistencia técnica por el OIEA, incluyen este tipo de obligaciones sobre protección física.

Actualmente en Chile el art. 12 de la ley N° 18.302 de seguridad nuclear (LSN) exige que toda instalación, planta, centro o laboratorio nuclear este dotado de medios de protección física conforme lo exijan los reglamentos correspondientes. Esta remisión legal, debe entenderse dirigida al Reglamento N° 87 de Protección Física de las instalaciones y de los materiales nucleares, publicado el 24 de Diciembre de 1984[22]. Este cuerpo normativo se hace cargo en parte de la seguridad física nacional, pero tiene sin duda un alcance más restringido que las recomendaciones del OIEA, y más de 20 años de desfase con la última actualización de éstas. Es por esto que resulta conveniente que nuestro país revise y actualice este Reglamento conforme a las recomendaciones del organismo, especialmente lo que se refiere a la protección física en la producción, el almacenamiento, la disposición, la utilización y el transporte de sustancias radiactivas. De lo contrario, Chile podría verse impedido de utilizar material y tecnología nuclear importada, ni estará en condiciones de aprovechar la asistencia técnica que el OIEA ofrece a los países miembros.

En concreto, es recomendable que nuestro país corrija su actual legislación y se haga cargo entre otras cosas; de establecer una relación clara y completa de las obligaciones básicas de protección física que deben cumplir las personas autorizadas para realizar actividades relacionadas con el uso pacífico de la energía nuclear; de establecer los mecanismos para evitar la retirada no autorizada de materiales nucleares en uso, almacenados o transportados; de procurar medidas para evitar actos de sabotaje contra las instalaciones nucleares o materiales nucleares; y por último de diseñar y preparar planes de contingencia para una respuesta rápida ante la retirada no autorizada de materiales nucleares, incluida la localización y recuperación de los materiales nucleares desaparecidos o sustraídos.

[22] La LSN entró en vigencia el 2 de Mayo de 1984 y su última modificación data del 1 de Octubre de 2002.

8.2.5 Acuerdo entre el Gobierno de Chile y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en relación con el Tratado de Tlatelolco

Nuestro País suscribió este acuerdo con el OIEA el 5 de abril de 1995, el cual fue promulgado por el Decreto Nº 539, publicado en el Diario Oficial el 19 de Julio del mismo año. Este acuerdo está basado en el documento modelo INFCIRC/153 del OIEA y conforme a su Art. 27 permanecerá en vigor mientras Chile sea parte del Tratado de Tlatelolco, o del TNP.[23]

El artículo 13 del Tratado de Tlatelolco expresa entre otras cosas que "*cada Parte Contratante negociará acuerdos - multilaterales y bilaterales - con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de las Salvaguardias de éste a sus actividades nucleares...*". Por su parte el OIEA está facultado, con arreglo al apartado 5 del párrafo A del artículo III de su Estatuto a concertar acuerdos de esa naturaleza. Adicionalmente, el TNP señala en su art. III que los Estados partes deberán concertar acuerdos de salvaguardias con el OIEA.

Como se hizo notar anteriormente, con la firma del Acuerdo de Salvaguardias entre Chile y el OIEA conforme al Tratado de Tlatelolco se ha dado cumplimiento a la obligación establecida en el Art. III del TNP.

De acuerdo al Art. 1 de este Acuerdo, el objetivo fundamental del sistema de salvaguardias es contribuir a asegurar que los materiales nucleares no se desvíen hacia la producción de armas nucleares u otros dispositivos explosivos nucleares. Así lo expresa el Art. 28 del Acuerdo, que señala que el objetivo técnico específico es, *"descubrir oportunamente la desviación de cantidades significativas de material nuclear de actividades nucleares pacíficas hacia la fabricación de armas nucleares o de otros dispositivos nucleares explosivos o con fines desconocidos, y disuadir de tal desviación ante el riesgo de su pronto descubrimiento."*

Para lograr estos objetivos, nuestro país se ha comprometido a cooperar y aceptar la aplicación de salvaguardias del OIEA a *"todos los materiales nucleares en todas las actividades nucleares realizadas dentro de su territorio, bajo su jurisdicción o efectuadas bajo su control en cualquier lugar…"*. La letra O del Art. 96 del Acuerdo establece que por materiales nucleares deben entenderse comprendidos cualesquiera materiales básicos o cualesquiera materiales fisionables especiales definidos en el Art. XX del Estatuto del OIEA. El artículo citado, señala que, materiales básicos son *"el uranio constituido por la mezcla de isótopos que contiene en su estado natural; el uranio en que la proporción de isótopo 235 es*

[23] Esto último conforme al acuerdo por intercambio de cartas con el OIEA del 6 de Noviembre de 1995 y 25 de Junio de 1996.

inferior a la normal; el torio; cualquiera de los elementos citados en forma de metal, aleación, compuesto químico o concentrado; cualquier otro material que contenga uno o más de los elementos citados en la concentración que la Junta de Gobernadores determine en su oportunidad; y los demás materiales que la Junta de Gobernadores determine en su oportunidad". Y materiales fisionables especiales son "el plutonio 239; el uranio 233; el uranio enriquecido en los isótopos 235 ó 233; cualquier material que contenga uno o varios de los elementos citados; y los demás materiales fisionables que la Junta de Gobernadores determine en su oportunidad".[24]

El **Acuerdo de Salvaguardias** mencionado establece una serie de mecanismos para el cumplimiento de sus objetivos, entre los cuales destacan:

1) **Sistema nacional de contabilidad y control (SNCC) (Art.7)**: Chile deberá organizar y mantener un SNCC para todos los materiales nucleares sujetos a salvaguardias, que comprenda a lo menos: un sistema de mediciones; un sistema de evaluación de la precisión de los instrumentos; procedimientos para revisar diferencias en las mediciones; procedimientos para efectuar inventarios físicos; un sistema de evaluación de las existencias no medidas; sistemas de registros e informes para cada zona de balance de materiales, y un sistema de presentación de informes al OIEA.

2) **Suministro de información (Art. 8)**: Chile debe dictar normas legales que establezcan un sistema de suministro de información, conforme al cual se obligue a todos los organismos y explotadores de instalaciones nucleares, a proveer prontamente de toda información necesaria al OIEA para asegurar la aplicación efectiva de las salvaguardias. La información requerida se detalla en diversas disposiciones del acuerdo, a saber; información sobre el diseño (Art. 40); información respecto de los materiales nucleares que estén fuera de las instalaciones (Art. 47), informes contables (Art. 60); e informes especiales (Art 66).

3) **Inspecciones (Art. 9)**: Chile se encuentra obligado a cooperar con los inspectores del OIEA de manera que puedan desempeñar eficazmente sus funciones, básicamente verificar que las cantidades declaradas de materiales nucleares están donde se ha declarado que están, y que no hay materiales

[24] La "Junta de Gobernadores" es un órgano del OIEA compuesto por 35 miembros, elegidos y designados por la Conferencia General, que tiene por función examinar y hacer recomendaciones a esta última, sobre las cuentas, programa y presupuesto, del organismo y además se hacer cargo de las solicitudes de adhesión. Asimismo, aprueba los acuerdos de salvaguardias y la publicación de las normas de seguridad del OIEA y tiene la responsabilidad de la designación del Director General de la OIEA con la aprobación de la Conferencia General.

nucleares sin declarar. Además nuestro país se compromete a adoptar todas las medidas necesarias a este fin. Las actividades de inspección incluyen el control de precintos e instrumentos, el examen de los registros de las instalaciones y la medición independiente del material u otros artículos enumerados en los documentos de contabilidad sujetos a salvaguardias.

4) **Traslado de materiales nucleares hacía y desde Chile (Art.13)**: Chile está obligado a notificar previamente al OIEA de los traslados de materiales nucleares fuera de Chile, lo cual se detalla en los Arts. 90 y 91. Por su parte, los Arts. 93 y 94 hacen lo propio respecto a los traslados hacia Chile. Por último, el Art. 92 obliga a nuestro país a no exportar materiales nucleares sujetos a salvaguardias a menos que estos materiales vayan a estar sometidos a ellas en el Estado receptor.

8.2.6 Protocolo Adicional al Acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en relación con el Tratado de Tlatelolco

Nuestro País suscribió este Protocolo con el OIEA el 19 de septiembre de 2002, el cual entró en vigor el 3 de Noviembre de 2003, tras cumplirse lo dispuesto en su art. 17.[25] En Chile, el Protocolo Adicional fue promulgado por el Decreto Nº 17, publicado en el Diario Oficial el 20 de Marzo de 2004.

El Protocolo Adicional está basado en el documento del OIEA INFCIRC/540 y tiene por objeto dotar al OIEA de herramientas complementarias y mejoradas para verificar la efectividad, la extensión y la corrección de la información suministrada por los Estados y así lograr una aplicación más eficaz y eficiente de las salvaguardias.

El Art. 1 del Protocolo establece que las disposiciones del Acuerdo de Salvaguardias se aplican a este en la medida en que sean pertinentes y compatibles, pero en caso de conflicto, las disposiciones del Protocolo prevalecen.

Las características fundamentales del Protocolo Adicional son las siguientes:

- **Permite al OIEA obtener más información de nuestro país** respecto a sus materiales, actividades y planes nucleares que la estipulada en los requisitos de notificación consignados en el Acuerdo de Salvaguardias. En términos

[25] Al 21 de enero de 2009, 128 países habían firmado el Protocolo Adicional encontrándose vigente 90 de ellos.

generales, el Protocolo adicional exige a Chile el suministro de información al Organismo sobre: todos los aspectos de su ciclo del combustible nuclear; todos los edificios situados en emplazamientos nucleares; los planes de desarrollo nuclear a largo plazo (diez años); las actividades e instalaciones de investigación y desarrollo del ámbito nuclear; la fabricación de artículos clave funcionalmente relacionados con el ciclo del combustible nuclear; y las exportaciones de equipo y materiales no nucleares especificados.

- **Amplía el acceso físico para los inspectores del Organismo**:
  a) Para asegurarse de la ausencia de materiales o actividades nucleares no declarados en cualquiera de los lugares mencionados en los apartados i) o ii) del párrafo a. del artículo 5, de manera selectiva;[26]
  b) Para resolver cualquier interrogante relativo a la corrección y exhaustividad de la información suministrada con arreglo al artículo 2 o para resolver una discrepancia relativa a esa información;
  c) Para confirmar, de acuerdo a los fines de las salvaguardias, la declaración de un Estado sobre la situación de clausura de una instalación o lugar fuera de las instalaciones en que habitualmente se utilizaban materiales nucleares.

- **Contiene algunos procedimientos administrativos mejorados** como son, por ejemplo: procedimientos racionalizados para designar los inspectores y expedirles visados; y mejores medios de comunicación entre los inspectores y la Sede del OIEA.

8.3 Situación actual en nuestro país

En Chile conforme al Art. 2 de la Ley de Seguridad Nuclear (LSN), corresponde a la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) la regulación, supervisión, control y fiscalización de las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear. En la práctica ha sido precisamente la CCHEN el encargado de dar cumplimiento a los acuerdos de salvaguardias con el OIEA, sin embargo no existe normativa alguna que entregue expresamente estas funciones a este organismo. Por lo mismo, es necesario elaborar un

[26] Estos lugares son: minas y plantas de concentración de uranio y torio, aquellos lugares donde se encuentren materiales básicos que no hayan alcanzado la composición y pureza adecuados para la fabricación de combustible, aquellos lugares donde hayan materiales nucleares exentos de salvaguardias conforme al párrafo c) del Art. 35 del Acuerdo de Salvaguardia y aquellos lugares donde se ubiquen y procesen desechos de actividad media o alta conforme al parrafo viii) de la letra a) del Art. 2 del Protocolo adicional.

estatuto legal que regularice esta situación y encomiende a este u otro organismo el cumplimiento y aplicación del Sistema de Salvaguardias y dentro de este marco, lo faculte expresamente para, entre otras cosas; establecer y mantener el sistema de contabilidad y control; establecer claramente la obligación respecto al suministro de información al OIEA; reconocer explícitamente el derecho de acceso de los inspectores de este organismo y prestarles apoyo durante el acceso complementario; y establecer los mecanismos de coerción en caso de incumplimiento de estas obligaciones.[27]

8.4 Alianza Mundial para la Energía Nuclear o Global Nuclear Energy Partnership (GNEP)

La Alianza Mundial de Energía Nuclear, en adelante GNEP, es una asociación voluntaria de Estados que comparten una visión común respecto a la necesidad de promover el uso seguro y sostenible de la energía nuclear con fines pacíficos, y al mismo tiempo reducir el riesgo de proliferación. El GNEP nació a principios de 2006, a iniciativa de EE.UU., en respuesta al renovado interés en todo el mundo de utilizar la energía nuclear para la generación eléctrica, y así dar solución a la creciente demanda energética sin aumentar las emisiones de carbono.

Actualmente el GNEP esta compuesto por 25 socios,[28] 3 observadores permanentes representantes de organismos internacionales, y un número similar de países observadores. Los socios son: Alemania, Armenia, Australia, Bulgaria, Canadá, China, Estonia, Francia, Ghana, Hungría, Italia, Japón, Jordania, Kazajstán, República de Corea, Lituania, Marruecos, Omán, Polonia, Rumania, la Federación de Rusia, Senegal, Eslovenia , Ucrania, Reino Unido y los Estados Unidos. Los tres observadores permanentes son: el OIEA, el Foro Internacional Generación IV y EURATOM.

Para ser socio del GNEP, se requiere de una invitación formal de los actuales miembros y apoyar y firmar la Declaración de Principios del Organismo. La Declaración de Principios, en todo caso, es de carácter no-vinculante, no obstante reviste gran importancia puesto que establece el marco político en base al cual funciona la organización.

El GNEP opera sobre la base del consenso y por el momento no se prevé la redacción de ningún Tratado, por el contrario, la intención es que el funcionamiento de esta organización

[27] Esta precisión se hace sin perjuicio de que Chile no puede invocar la inexistencia de leyes internas para incumplir el Acuerdo de Salvaguardias y su Protocolo Adicional firmados con el OIEA.
[28] Ver en http://www.gneppartnership.org/index.htm

se desarrolle principalmente dentro del marco de la Declaración de Principios, y a través de los Tratados y Acuerdos Internacionales actualmente vigentes.

De acuerdo al contenido de la Declaración de Principios del GNEP, los objetivos de este organismo son:

- Expandir la capacidad nuclear para lograr satisfacer de forma sustentable la creciente demanda energética y garantizar la operación segura de las plantas nucleares y la gestión de desechos.
- Cooperar con el OIEA en el desarrollo y ampliación del sistema de salvaguardias para monitorear de manera eficiente y efectiva los materiales nucleares.
- Establecer marcos internacionales de suministro para mejorar y hacer más confiables los servicios de combustible nuclear y la oferta de éstos en el mercado global, de manera de proveer opciones viables para la generación de energía nuclear, sin que ellas impliquen la adquisición de tecnologías sensibles del ciclo de combustible, y con ello reducir el riesgo de proliferación.
- Desarrollar, demostrar, y a su debido tiempo, estrenar nuevos y avanzados reactores rápidos que consuman elementos transuránicos provenientes del reprocesamiento del combustible gastado.
- Promover el desarrollo de reactores nucleares de potencia avanzados, más resistentes a la proliferación, y apropiados para las redes de suministro de países en desarrollo.
- Desarrollar y probar tecnologías avanzadas de reprocesamiento del combustible gastado para su uso en instalaciones que no separen plutonio puro, con el objetivo a largo plazo de cesar la separación de plutonio y eventualmente eliminar los stocks civiles de plutonio separado. Tales tecnologías, una vez disponibles, ayudarían a reducir los desechos nucleares, simplificando su disposición y disminuyendo los inventarios civiles de combustible gastado, de forma segura y resistente a la proliferación.
- Aprovechar los mejores enfoques disponibles del ciclo de combustible para el eficiente y responsable uso de la energía y los recursos naturales.

De lo anterior, se concluye que esta propuesta busca crear un consorcio internacional de países desarrollados, con plena capacidad en el ciclo de combustible nuclear, bajo supervisión del OIEA, que serán los únicos con el derecho a ofrecer servicios de enriquecimiento de uranio y reprocesamiento del combustible gastado, y que operará bajo una formula de concesión del combustible nuclear, que incluiría la devolución del combustible gastado, de manera de evitar que los consumidores de estos servicios se animen a adquirir capacidades propias en relación a estos servicios. En otras palabras, esta iniciativa pretende dividir el mundo en naciones suministradores de combustible y naciones

consumidoras de estos servicios operadoras de centrales nucleares. En esta línea, las naciones asociadas desarrollarán y proporcionarán servicios de combustible nuclear a los países en desarrollo, permitiéndoles disfrutar de los beneficios de la energía nuclear a precios de mercado a cambio de renunciar al desarrollo propio de actividades de enriquecimiento y reprocesamiento, y de esta forma disminuir los riesgos de proliferación por la vía de evitar la propagación incontrolada de las tecnologías y materiales nucleares.

8.5 Consideraciones respecto al Ciclo del Combustible Nuclear (CCN)

Habiendo analizado detalladamente cada uno de los instrumentos internacionales relevantes para efectos de este informe, examinaremos a continuación específicamente las implicancias del Régimen de No Proliferación Nuclear sobre la regulación del CCN en nuestro país.

8.5.1 Etapa previa o Front End

El Ciclo de Combustible Nuclear (CCN) se refiere a la cadena de procesos a través de los cuales el combustible nuclear es producido y administrado previamente (front end) y posteriormente (back end) a su uso en un reactor nuclear. La extracción de energía a partir del combustible mientras éste se encuentra dentro del reactor no se considera parte del ciclo. El “front end” comprende a su vez las siguientes etapas:

8.5.1.1 Minería

La minería del uranio en Chile se rige en principio por las reglas generales contenidas en la Constitución Política de la República, la ley Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras (LOCCM) y en el Código de Minería, salvo ciertas particularidades. En específico, el Art. 15 de la LOCCM cataloga al Uranio como mineral de valor estratégico y le entrega por ello al Estado un derecho de primera opción de compra sobre él. El Art. 10 del código de minería establece la forma, oportunidad y modalidades como el Estado podrá ejercer dicho derecho. Por su parte, el Art. 8 de la Ley 16.319 que crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear[29], señala que el uranio, en tanto material atómico natural, “*no podrá[n] ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos sino cuando ello se ejecuten o celebren por la Comisión Chilena de Energía Nuclear, con ésta o con su autorización previa*,” estableciendo así una suerte de

[29] Esta Ley entró en vigencia el 23 de Agosto de 1965, cuya última modificación data del 22 de febrero de 1990.

incomerciabilidad de estos materiales sujeta a la autorización de la CCHEN. Es recomendable revisar esta situación de forma tal de precisar los alcances de esta norma

Sin perjuicio de lo anterior, la LSN nada dice respecto a la Minería del Uranio. Es recomendable corregir esta omisión ya que esta actividad entraña riesgos relacionados con la posible exposición radiológica de los trabajadores y el público, además de generar desechos radioactivos. Es por este motivo precisamente, que en la mayoría de los países productores de uranio, se exige autorización o licencia para la minería de este metal a fin de proteger a las personas y el medio ambiente.[30] Esta autorización comprende por regla general todas las etapas relacionadas con la minería del uranio, desde la exploración hasta el cierre de la mina o instalación de tratamiento.

Respecto a las salvaguardias del OIEA, no existen disposiciones que aludan directamente a la minería del Uranio a excepción del párrafo v) de la letra a) del Art. 2 del Protocolo Adicional al Acuerdo de Salvaguardias, según el cual nuestro país se encuentra obligado a suministrar información respecto a la ubicación, estado operacional y capacidad de producción anual de las minas de uranio y las plantas de concentración.

En relación a la Molienda del Uranio, el párrafo vi) de la letra a) del Art. 2 del Protocolo Adicional, exige a nuestro país el suministro de información respecto las cantidades, composición química y utilización prevista de los materiales básicos que no hayan alcanzado la composición y pureza adecuadas para la fabricación de combustible, siempre que se cumplan las demás condiciones que la misma norma dispone. Además, conforme a las letra b) y c) del Art. 2 del Protocolo adicional, Chile debe notificar al OIEA toda exportación o importación de materiales básicos como el “yellowcake”.

8.5.1.2 Conversión

Los países que realizan el proceso de Conversión del Uranio exigen autorización o licencia previa para desarrollar esta actividad. En nuestro país, el Art. 4 de la Ley de Seguridad Nuclear (LSN) señala expresamente que se requiere autorización de la CCHEN para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de instalaciones nucleares, dentro de las cuales se podrían entender comprendidas las instalaciones de conversión del uranio, no obstante convendría precisar esta situación considerando que falta claridad en la definición de “instalación nuclear” contenida en el número 9 del Art. 3 de la LSN.

[30] A modo de ejemplo, ver sección 16 de la Nuclear Act de Finlandia, conforme a las enmiendas de 2004 o la letra c) del Art. 16 de la Ley Nacional de Actividad Nuclear de Argentina.

Las plantas de conversión, al igual que las de enriquecimiento, fabricación y reprocesamiento, quedan comprendidas dentro del concepto de “instalaciones” nucleares conforme la definición que da el art. 96 letra I del Acuerdo de Salvaguardias, por lo mismo le son aplicables todas las obligaciones que en el presente informe se han examinado en cuanto a la contabilidad del material nuclear, suministro de información y derecho de acceso de los inspectores del OIEA.

8.5.1.3 Enriquecimiento

En Chile el Art. 4 de la LSN exige autorización por Decreto Supremo, expedido por el Ministerio de Minería para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de plantas de enriquecimiento. Como veremos más adelante, el párrafo II del título III de la LSN, titulado “*De las autorizaciones*”, no señala con suficiente precisión cuales son en concreto las condiciones a cumplir para el otorgamiento de estas autorizaciones.

8.5.1.4 Fabricación

En nuestro país, el Art. 4 de la LSN exige autorización de la CCHEN para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de las instalaciones nucleares, dentro de las cuales se encuentran comprendidas las fabricas de combustible nuclear conforme a la letra b) del número 9 del Art. 3 de la citada ley.

8.5.2 Etapa posterior o Back End

La etapa posterior del CCN se inicia cuando el combustible gastado es retirado del reactor. El “back end” comprende las siguientes etapas:

8.5.2.1 Almacenamiento

El combustible gastado contiene plutonio, el cual puede ser utilizado para la fabricación de artefactos explosivos y por lo mismo es necesario que sea objeto de medidas de protección

tanto radiológicas como físicas durante todo momento hasta que sea prácticamente irrecuperable.

En Chile, la disposición contenida en el Art. 4 de la LSN exige autorización por Decreto Supremo, expedido por el Ministerio de Minería para el emplazamiento, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de las instalaciones nucleares, dentro de las cuales se encuentran comprendidos los Depósitos de Almacenamiento Permanente de Sustancias Nucleares o Radioactivas.

8.5.2.2 Reprocesamiento

Respecto a las salvaguardias del OIEA, el párrafo i) de la letra a) y el párrafo i) de la letra b) del Art. 2 del Protocolo Adicional, exige a nuestro país suministrar información al OIEA respecto de la ubicación de las actividades de investigación y desarrollo relacionadas con el ciclo del combustible nuclear que no comprendan materiales nucleares, dentro de las cuales se encuentra incluido el reprocesamiento de combustible nuclear, conforme lo señala el Art. 18 del Protocolo Adicional.

Por su parte, el Art. 4 de la LSN exige autorización por Decreto Supremo, expedido por el Ministerio de Minería para el emplazamiento, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de las instalaciones nucleares, dentro de las cuales se encuentran comprendidas las instalaciones de reprocesamiento de combustible nucleares irradiados conforme a la letra b) del número 9 del Art. 3 de la misma ley.

8.5.2.3 Desmantelamiento

Cuando una planta nuclear cierra definitivamente, todos los materiales nucleares, ya sean máquinas o instalaciones se deben eliminar para que evitar que afecten a las personas o al medio ambiente y de esa forma garantizar que el sitio donde se ubicó pueda ser utilizado para nuevos fines.

Al respecto, la disposición contenida en el Art. 4 de la LSN exige autorización de la CCHEN para el cierre y desmantelamiento de las instalaciones, plantas, laboratorios, establecimientos y equipos nucleares en nuestro país.

8.5.2.4 Gestión de los desechos nucleares y disposición final

En el derecho comparado, los países con legislaciones nucleares avanzadas, exigen autorización previa para el emplazamiento, diseño, construcción y explotación de Instalaciones de Gestión de Desechos Radioactivos, y exigen además licencia a las personas involucradas en su manejo.[31] Las condiciones de estas autorizaciones varían de acuerdo con el tipo de desecho, su radiactividad, su volumen y el método de almacenamiento o disposición final previsto. Asimismo, se suele exigir la preparación de un plan de gestión de los desechos radioactivos, como condición previa para el otorgamiento de una autorización para desarrollar una actividad nuclear.[32]

En Chile, la LSN dispone en su Art. 4 inciso final que *"[n]o podrá autorizarse el almacenamiento de desechos nucleares o radiactivos en territorio nacional, salvo que se produzcan u originen en él"*. A su vez, el Art. 9 establece la responsabilidad del explotador de proveer los medios necesarios para el tratamiento y almacenamiento definitivo de los desechos radiactivos. El Art. 32 por su parte señala que *"[s]erá responsabilidad de la Comisión Chilena de Energía Nuclear la mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radiactivos de larga vida. En los demás casos, los depósitos de desechos radiactivos serán de responsabilidad de la persona que los tenga a su cargo."* Además, el número 7 del Art. 3 de la misma ley considera los desechos radioactivos como sustancias nucleares, y como tales le hace aplicables todas las disposiciones que la misma ley establece para la gestión segura estas sustancias. Por último, el inciso segundo del Art. 86 del Código Sanitario señala que *"el abandono o desecho de sustancias radiactivas que se utilicen o mantengan en las instalaciones radiactivas o en los equipos generadores de radiaciones ionizantes, deberán ser autorizados"* por los Servicios de Salud correspondientes.

No obstante estas disposiciones, no existe en Chile una regulación íntegra y sistemática de la gestión de los desechos radioactivos que cumpla con los estándares requeridos a nivel internacional. En consecuencia, nuestro país debería estudiar el reformular su legislación actual y así exigir a todo aquel que solicite autorización para realizar actividades nucleares, que cuente con un plan a largo plazo para el desmantelamiento, gestión y disposición final de los desechos radioactivos generados durante la operación.[33]

[31] A modo de ejemplo, ver número (3) de la sección 2 de la Nuclear Act de Finlandia, conforme a la enmienda de 2004, o la letra c) del Art. 16 de la Ley de Actividad Nucleara de Argentina.

[32] Ver el número (5) de la sección 19 en relación a la sección 28 de la Nuclear Act de Finlandia, conforme a la enmienda de 2004.

[33] Lo señalado es sin perjuicio de cumplir con las disposiciones de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Respecto al régimen de no proliferación, conforme al Art. 96 del Acuerdo de Salvaguardias el combustible gastado queda comprendido dentro del concepto de "materiales nucleares", y como tal queda sujeto a todas las restricciones contenidas en dicho instrumento.

Es importante considerar además, en relación a disposición de desechos, que de acuerdo al Art. V del Tratado Antártico nuestro país no esta autorizado a eliminar desechos radioactivos en la Antártida.[34] Por su parte, el Art. IV del Convenio sobre Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras materias y el Art. II del Protocolo para la protección del pacífico sudeste contra la contaminación radioactiva, prohíben a Chile verter desechos radioactivos en el medio marino comprendido en el ámbito de aplicación geográfico de estos Tratados.[35, 36]

Por último, cabe destacar que a nivel internacional se encuentra en vigor desde junio del 2001, la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, la cual establece un marco jurídico internacional para la seguridad en la gestión y el almacenamiento de los desechos radiactivos y del combustible gastado en países con o sin programas nucleares. Chile aún no es parte de esta Convención.

8.5.2.5 Transporte

Respecto a la Regulación Internacional del Transporte, el año 2001 el Comité de Expertos de Naciones Unidas en Transporte de Mercaderías Peligrosas, publicó el documento "Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamentación Modelo". En lo referente a los materiales radioactivos, la Reglamentación Modelo se basó en la edición de 1996 del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radioactivos. La Reglamentación Modelo, y por consiguiente el Reglamento de Transporte del OIEA, ha adquirido fuerza vinculante gracias a su incorporación en distintos instrumentos internaciones vinculados al Transporte. En concreto, la Reglamentación Modelo fue incorporada en las instrucciones técnicas de la Organización de Aviación Civil Internacional, incluidas como anexo en el Convenio de Chicago sobre la Aviación Civil Internacional, convenio del cual nuestro país es miembro. Por su parte, el Código Internacional Marítimo de

[34] Suscrito en Washington el 1º de diciembre de 1959, entró en vigencia el 23 de junio de 1961 (Publicado en el Diario Oficial del 14 de julio de 1961 y Rectificado en el Diario Oficial del 2 de diciembre de 1961).

[35] Ratificada el 4 de Agosto de 1977 y promulgada en virtud del Decreto N° 476, publicado el 11 de Octubre del mismo año. Conforme al número 6 del Anexo I al Tratado, corresponde al OIEA definir aquellos materiales radioactivos que son inapropiados para ser vertidos al mar.

[36] Ratificada el 19 de Agosto de 1992 y promulgado en virtud del Decreto N° 720, publicado el 17 de Agosto de 1995. Conforme a su Art. IV la definición de desecho radioactivo corresponde al OIEA.

Mercancías Peligrosas desarrolla las disposiciones de la Reglamentación modelo y es además vinculante ya que fue incorporado en el capítulo VII del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (Convenio SOLAS), convenio del cual nuestro país también es parte.[37]

En el plano interno, el Art. 4 de la LSN exige la autorización de la CCHEN para "*el tránsito por el territorio nacional, zona económica exclusiva, mar presencial y espacio aéreo nacional de sustancias nucleares o materiales radiactivos*" conforme a las formalidades y condiciones que establece la ley y sus reglamentos. La remisión debe entenderse dirigida al Decreto Ley N° 12 de 1985 que establece el Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radioactivos. Para dar pleno cumplimiento a sus obligaciones internacionales en esta materia, es necesario que nuestro país modifique y actualice el citado cuerpo normativo conforme al Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA.

8.5.3 Controles de exportación e importación

A países como Chile, que no producen combustible nuclear, les resulta indispensable valerse de tecnología y materiales nucleares importados para el eventual desarrollo de un programa núcleo-eléctrico. Es aquí donde los sistemas de control de exportación e importación cobran especial relevancia, toda vez que su existencia constituye un elemento esencial dentro del régimen de no proliferación, derivado de las obligaciones contraídas por nuestro país en virtud de del TNP (Art. II y III.2), la CPFMN (Art. 4), el Tratado de Tlatelolco (art.1) y los Acuerdos de cooperación en el campo nuclear firmados con Rusia (Art. 8) y Corea (Art. VIII). Como se indicó reiteramos que los países proveedores nucleares exigen la aplicación de estos controles como condición previa al suministro de material y tecnología nuclear. En consecuencia, nuestro país deberá diseñar un marco jurídico que regule estas transferencias, de lo contrario no podrá contar con los beneficios del comercio y cooperación en esta materia.

Actualmente, el inciso segundo del Art. 10 de la LSN señala que *"[l]a Dirección Nacional de Aduanas tramitará y despachará su envío en forma preferente, y no podrá abrir los bultos en tránsito sin previa citación del remitente o destinatario responsable y en presencia de un inspector de la Comisión, quien deberá levantar acta de lo obrado*."

Por su parte, el Art. 4 de la misma ley requiere de autorización de la CCHEN para el ingreso a nuestro país de sustancias nucleares o materiales radioactivos, conforme a las

[37] Existen numerosos Convenios que se refieren al transporte internacional de materiales peligrosos que quedan fuera del alcance de este estudio.

formalidades y condiciones que establece la misma ley y sus reglamentos. La LSN sin embargo, nada dice respecto a la exportación de dichos materiales, lo cual resulta claramente inconsistente con las obligaciones internacionales contraídas por nuestro país. El Código Sanitario salva esta omisión al establecer en su Art. 86 que la importación y exportación de sustancias radioactivas que se utilicen o mantengan en instalaciones radioactivas o en los equipos generadores de radiaciones ionizantes, deberán ser autorizados por los Servicios de Salud correspondientes. A su vez, el Art. 20 del Decreto N° 133 complementa esta disposición al señalar que "[l]as sustancias radiactivas no podrán ser internadas al territorio nacional o enviadas fuera de él, sin la competente autorización sanitaria." El problema radica en que tanto el Código Sanitario como el Reglamento se refieren a las sustancias radioactivas que quedan comprendidas dentro del ámbito de competencia del MINSAL, quedando excluidos por tanto los materiales nucleares a los que se refiere la LSN. Además las normas son incompletas pues no señalan cuáles son los requisitos o condiciones para recibir la citada autorización. Por último, de aplicarse a esta norma a las sustancias nucleares, el control de las exportaciones e importaciones de estas sustancias quedaría entregado al MINSAL produciéndose en la ley una superposición de funciones que con la CCHEN.

Como se puede observar, nuestra legislación NO trata de manera sistemática el control de exportaciones e importaciones nucleares, presenta además lagunas insalvables y no cumple con asignar de manera clara las funciones que corresponden a los distintos organismos. Por lo mismo, es necesario que Chile corrija esta situación y estudie la conveniencia de dictar el respectivo reglamento que se haga cargo de esta materia.

8.6 Conclusiones

1. Los Tratados Internacionales relacionados con el uso pacífico de la energía nuclear suscritos por Chile obligan a nuestro país desde el momento del deposito del instrumento de ratificación o adhesión salvo que el mismo Tratado disponga algo distinto. En el plano interno, los Tratados se encuentran vigentes a partir de su promulgación y publicación en el Diario Oficial, gozan de aplicación preferente por sobre la ley y pueden ser directamente invocados y aplicados si sus cláusulas así lo permiten (self-executing treaties). En caso contrario, la obligación de Chile es dictar las leyes o reglamentos necesarios, pues la inexistencia de ley no lo exime del cumplimiento de los Tratados.

2. Conforme a los Tratados examinados, no existe ningún impedimento legal que prohíba a nuestro país desarrollar las distintas etapas del ciclo de combustible

nuclear siempre y cuando se respeten las obligaciones internacionales derivadas del régimen de no proliferación nuclear. Este derecho a desarrollar la energía nuclear con fines pacíficos está consagrado en todos los Tratados examinados.

3. No obstante lo anterior, en el contexto actual resulta difícil lograr desarrollar de forma autónoma cada una de las etapas del ciclo de combustible nuclear, especialmente aquellas que requieren de las llamadas tecnologías nucleares sensibles –enriquecimiento, reprocesamiento y producción de agua dura-. Por este motivo, han surgido iniciativas tales como el GNEP que pretende ofrecer comercialmente dichos servicios a cambio de que los países consumidores, renuncien a adquirir o desarrollar capacidades propias en relación a éstos.

4. Si Chile decide valerse de material y tecnología nuclear importada deberá dar garantías del cumplimiento de los requisitos exigidos por los países proveedores nucleares y examinados en el presente informe. La legislación chilena es insuficiente en esta materia.

5. Actualmente, Chile cumple con sus obligaciones internacionales en materia de energía nuclear, gracias a la actuación diligente de la CCHEN, a pesar de la existencia de importantes vacíos legales. Por lo anterior, resulta de vital importancia que nuestro país actualice los reglamentos vigentes y dicte aquellos que hacen falta. Además, es necesario que la legislación sea perfeccionada a fin de establecer una relación clara de las competencias que corresponden a los distintos organismos vinculados a la regulación de la energía nuclear junto con precisar los requisitos exigidos para el otorgamiento de las diversas autorizaciones.

9. CAPACIDAD PARA IMPLEMENTAR PARTES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR EN CHILE

9.1 Antecedentes

El análisis de la capacidad para implementar partes del ciclo de combustible nuclear en Chile se ha desarrollado a través de una serie de entrevistas a personal de la COMISIÖN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR (CCHEN). Las entrevistas realizadas corresponden a las siguientes:

- Fernando López (Director Ejecutivo de CCHEN) y Luis Frangini (Jefe División Jurídica de CCHEN), realizada el día 14 de enero de 2009.
- Gonzalo Torres (Jefe del Departamento de Materiales Nucleares de CCHEN), realizada el día 21 de enero de 2009.
- Loreto Villanueva (Jefa del Departamento de Protección Radiológica y Ambiental de CCHEN), realizada el día 2 de febrero de 2009.
- Rosemarie Schrader (Jefa del Departamento de Producción y Servicios), realizada el día 11 de febrero de 2009.
- Mauricio Lichtberg (Jefe del Departamento de Seguridad Nuclear y Radiológica), realizada el día 6 de marzo de 2009.
- Oscar Durán (Jefe del Departamento de Aplicaciones Nucleares) y Juan Klein (jefe Subdepartamento Reactores), realizada el día 11 de marzo de 2009.

Las minutas de estas reuniones se presentan en el Anexo B.

Por otra parte, el Consultor participó del Seminario realizado con ocasión de la entrega de los resultados del Estudio de Marco Regulador realizado por la empresa finlandesa Stuk. Además de la información recogida en el Seminario, el Consultor tuvo la oportunidad de intercambiar ideas y comentarios con los diferentes asistentes, en forma más o menos informal. Adicionalmente, el Consultor ha realizado contactos formales e informales con otras personas que están relacionadas con el tema de la energía nuclear y su uso en el país.

El equipo de AMEC quiere agradecer a todas estas personas el apoyo otorgado.

Actualmente CCHEN realiza las siguientes acciones relacionadas con el ciclo de combustible, todas ellas en sus instalaciones de Lo Aguirre:

- Una Planta Piloto para la obtención de uranio (yellow cake) a partir de las colas de relaves de Codelco. Si los estudios técnicos y económicos lo avalan, se podría construir una planta a escala industrial.
- Elaboración de uranio metálico a partir de hexafluoruro de uranio en forma gaseosa (ya enriquecido).
- Fabricación del combustible utilizado en el Reactor de La Reina a partir del uranio metálico[38].

Por otra parte, la CCHEN no realiza acciones relacionadas con los procesos de Enriquecimiento ni de Reproceso. Esto se debe, en parte, a que los países que poseen estas tecnologías corresponden a países desarrollados que no desean la proliferación de material radioactivo que pueda ser utilizado para una bomba nuclear. Además, la escala económicamente rentable para las plantas es de un tamaño que satisfaga la demanda de varias centrales. Por estos motivos, el personal de la CCHEN no ve factible realizar esos procesos en el país es desarrollados se lo reservan).

El análisis realizado indica que no existen impedimentos técnicos para desarrollar parte o la totalidad del ciclo de combustible en el país[39]. Sin embargo, la decisión de implementar o no parte de este ciclo debe considerar también otros aspectos que están fuera del alcance del presente Estudio. Estas consideraciones se discuten a continuación.

9.2 Consideraciones

9.2.1 Participación activa del Estado en el Programa de Energía Nuclear

En efecto, un Programa de Energía Nuclear sólo podrá ser llevado a la práctica con un compromiso directo del Estado. Este compromiso y participación es necesario para:

- Obtener colaboración internacional, tanto de la Agencia Internacional para la Energía Atómica (OIEA por sus siglas en inglés) como de los gobiernos de otros países.
- Los proveedores de tecnología no “verán con buenos ojos” un Programa eminentemente privado.

[38] Existe la capacidad para fabricar el combustible para el Reactor de Lo Aguirre, pero éste no está activo.
[39] Para la etapa de minería, esta afirmación está supeditada a la existencia de un yacimiento comercialmente explotable.

De lo anterior se desprende que si Chile decide implementar un Programa de Energía Nuclear deberá utilizar las recomendaciones de la OIEA para los países que inician un programa de este tipo. Estas recomendaciones están indicadas en diferentes documentos de esta organización, siendo los principales:

- Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development (2008)
- Considerations to Launch a Nuclear Power Programme, OIEA, Vienna (2007)
- Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, OIEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1, OIEA, Vienna (2007)
- Basic Infrastructure for a Nuclear Power Project, OIEA-TECDOC-1513, OIEA, Vienna (2006)
- Potential for Sharing Nuclear Power Infrastructure between Countries, OIEA-TECDOC-1522, OIEA, Vienna (2006)
- Handbook on Nuclear Law, OIEA, Vienna (2003)
- Fundamental Safety Principles, Safety Standards Series No. SF-1, OIEA, Vienna (2006)
- Managing the First Nuclear Power Plant Project, OIEA-TECDOC-1555, OIEA, Vienna (2007)
- Nuclear Energy Basic Principles, OIEA Nuclear Energy Series No. NE-BP (2009)

Estas recomendaciones indican, principalmente, que es necesario:

- Un proceso en tres etapas (milestones) principales, estando Chile en el desarrollo de la primera de ellas; es decir, las acciones a realizar antes de tomar la decisión de implementar un programa nuclear.

- En esta etapa es necesario considerar los siguientes temas (para cada uno de ellos, la OIEA ha definido las condiciones que se deben cumplir para pasar a la segunda etapa adecuadamente):
    1. Posición como país frente a la Energía Nuclear
    2. Seguridad nuclear
    3. Gestión del programa
    4. Fondos y financiamiento
    5. Marco legislativo
    6. Salvaguardas
    7. Marco regulatorio
    8. Protección radiológica

9. Sistema eléctrico
10. Desarrollo del recurso humano
11. Participación de todos los involucrados
12. Sitio y servicios de soporte
13. Protección medioambiental
14. Planes de emergencia
15. Seguridad y protección física
16. Ciclo del combustible nuclear
17. Residuos radioactivos
18. Incorporación de la industria nacional
19. Abastecimiento

- Formación de un grupo consultivo (Nuclear Energy Programme Implementing Organization - NEPIO), que represente a todos los sectores involucrados en el programa nuclear.

Este aspecto tiene muchas otras implicancias, que están fuera del alcance de este documento. Sin embargo, el resto de las conclusiones presentadas asumen que el Programa será impulsado y desarrollado por el Estado, con una perspectiva de largo plazo.

9.2.2 Definiciones sobre el Ciclo de Combustible

Para el caso del Ciclo de Combustible la recomendación de la OIEA para la primera etapa (Milestone Nº1) es la siguiente [101]:

> *"In considering a nuclear power programme, the NEPIO should develop a broad knowledge of the steps in the nuclear fuel cycle and determine the approaches that may be feasible for the country. The level of investment and the human resource needs will vary considerably with the options chosen. For most countries, the development of a completely indigenous nuclear fuel cycle concurrent with the first nuclear power plant would be a daunting task and would not likely yield economic benefits. However, a country with abundant uranium deposits may decide to embark on mining and milling operations while purchasing conversion, enrichment and fabrication services.*
> *"Depending upon the degree of concern for energy security, the amount of inventory of fresh fuel is another issue worthy of attention.*

With regard to the back end, the need to provide on-site spent fuel storage for at least two to three years of cooling time is necessary irrespective of the future plans for the fuel. "Additionally, it is highly likely that interim spent fuel storage, whether on-site or at an independent site, will be needed for several decades. The issue of ultimate disposal will be discussed in the following section [Tema Nº 17, no transcrito].

"As the decision to employ nuclear power is considered, the following information should be available:

- *Knowledge of the individual steps in the nuclear fuel cycle;*
- *Knowledge of the sources of supplies and services for each step;*
- *National natural resources and capabilities with respect to each step;*
- *Feasible policy options for a national fuel cycle strategy;*
- *Impact on personnel requirements of various reactor acquisition and fuel cycle strategies.*

"Armed with the knowledge and feasible approaches to the nuclear fuel cycle, the country has recognition of the associated commitments involved with the development of a nuclear power programme."

De esta forma, el presente Estudio entrega la información relevante para analizar los aspectos mencionados. En efecto, se describe el ciclo de combustible, las fuentes y proveedores en cada etapa del ciclo, los recursos naturales disponibles. Adicionalmente, en estos comentarios, se analiza la capacidad para desarrollar parte del ciclo en el país, incluyendo los requerimientos de personal especializado.

9.2.3 Alternativas de ciclo de combustible

Las diferentes alternativas de ciclo de combustibles identificadas en el presente documento están relacionadas con las diferentes opciones de centrales que pueden ser implementadas.

Además, la definición de desarrollar parte del ciclo de combustible en el país requiere conjugar las capacidades técnicas para hacerlo y las decisiones políticas asociadas al Programa Nuclear.

Respecto a las capacidades técnicas, puede establecerse que en la actualidad, la CCHEN cuenta con las capacidades requeridas para su nivel actual de trabajo y en una escala que es económicamente competitiva con otras alternativas. Los proyectos que la propia CCHEN está desarrollando en su ámbito y el crecimiento vegetativo de su demanda por servicios probablemente podrá ser absorbido sin mayores complicaciones, aunque requiera la contratación (y entrenamiento) de nuevo personal.

Por otra parte, si se desea implementar parte del ciclo para una central de potencia, el personal de la CCHEN podrá servir como el núcleo que dará origen al grupo que desarrollaría estas funciones.

Al respecto cabe destacar que dentro de las cuatro etapas principales del front end del ciclo (minería, conversión, enriquecimiento y fabricación) sólo es posible considerar en este sentido, para Chile, la última.

En efecto, la primera depende de la ubicación de los yacimientos de uranio. Hasta donde este Consultor posee información, no existen en Chile yacimientos de uranio económicamente explotables. La única excepción corresponde a la posibilidad de extraer uranio desde los relaves de cobre de la mina de Chuquicamata (y potencialmente de otras minas). Sólo en este caso se tendría una minería de uranio en Chile, pero que, probablemente, se colocaría en el mercado internacional y no necesariamente para ser usado en el país. De hecho la minería de uranio en un determinado país no está asociado, necesariamente, al desarrollo de un programa nuclear.

La ubicación de la segunda etapa de conversión está asociada a las plantas de enriquecimiento, por lo que tendría sentido si se implementan también las facilidades de enriquecimiento. Sin embargo, el enriquecimiento tiene sentido para varias centrales nucleares, no sólo para una. Luego, no se estima conveniente esta implementar esta etapa del ciclo en el corto plazo en Chile. Además, la etapa de enriquecimiento es una compleja, ya que permitiría la proliferación. Por este motivo, los países con desarrollo nuclear se han mostrado, en los últimos años, reticentes a proveer esta tecnología.

Por lo anterior, sólo es posible considerar la fabricación (desde el uranio gaseoso enriquecido) como una etapa para ser desarrollada en Chile.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que las decisiones sobre qué partes del ciclo de combustible se desarrollen en Chile tienen otras implicancias, por ejemplo sobre la dependencia que se tendría respecto a los países / empresas proveedoras. Luego, considerando que las capacidades que pueda desarrollar Chile en el período hasta que sean requeridas son limitadas, el Estado (a través del Programa Nuclear) deberá identificar en qué áreas se enfatizará el desarrollo nacional.

En efecto, el desarrollo de un programa nuclear requiere del desarrollo de muchos aspectos (tal como se indica en la sección anterior al identificar las condiciones para tomar una decisión al respecto). Pero debe considerarse que las capacidades de nuestro país para desarrollarlas todas internamente son limitadas (en términos de cantidad de profesionales capacitados, de tiempo para desarrollarlas y/o financieras). **Por lo tanto, como parte del**

Programa será necesario tomar definiciones de qué aspectos serán desarrollados internamente y cuales serán adquiridos en el extranjero.

En resumen, la decisión de desarrollar parte del ciclo en el país deberá considerar:

- Los aspectos técnicos.
- Los aspectos de dependencia internacional y la capacidad de negociación como país.
- La definición de los aspectos a desarrollar en Chile, desde el punto de vista del Programa Nuclear.

9.2.4 Capacidad de la CCHEN para integrarse a un Programa Nuclear

Los comentarios que siguen corresponden a la CCHEN en su actual organización y funciones. Como se ha sugerido en otros estudios la necesidad de separar sus funciones normativas y fiscalizadoras de sus funciones operativas, algunos de los comentarios que siguen podrían tener que ajustarse a su nueva organización.

La opinión de este consultor es que el personal de la CCHEN está bien preparado para desarrollar las funciones que tiene encomendadas. Además, se nota comprometido no sólo con la Institución, si no con el desarrollo de la energía nuclear en el país.

Sin embargo, el actual personal de la CCHEN tiene las siguientes limitantes para desarrollar un programa nuclear:

- La edad promedio es claramente sobre los 55 años[40]. Es decir, en el período de diseño y construcción de la primera central la mayoría de sus mandos superiores llegarán a su edad de jubilación. Por lo tanto se requiere de una renovación de sus cuadros.
- La cantidad de profesionales y técnicos es adecuada al volumen de trabajo que actualmente posee (incluso hay personas que opinan que es insuficiente para su actual carga de trabajo). Por lo tanto, debería aumentar considerablemente para liderar un programa nuclear.

Además, este Consultor considera conveniente crear otra institución independiente a la CCHEN que diseñe, construya y opere una futura central de potencia. Sin perjuicio de esta

[40] Este no corresponde a un dato oficial, si no a información recopilada desde diferentes fuentes.

separación legal, se deberán implementar los mecanismos formales e informales que permitan aprovechar las sinergias entre estas dos instituciones.

Sin perjuicio de lo anterior, el personal más joven de la CCHEN y aquellos que se incorporen a ella deberán ser la base o semillero de un programa nuclear. Por ejemplo, un profesional joven puede ser capacitado en algún aspecto especifico y luego trabajar en la CCHEN en el Departamento correspondiente hasta que corresponda formar el departamento equivalente de la central nuclear, el que pasaría a dirigir.

De esta forma, será posible no sólo formar a los profesionales y técnicos requeridos, si no también que apliquen los conocimientos adquiridos y los profundicen en su aplicación practica, aunque sea en una escala menor.

Por otra parte, la CCHEN actualmente dicta una serie de cursos específicos, orientados principalmente a operadores de material radioactivo. Esta experiencia de la CCHEN puede ser ampliada para servir de entrenamiento básico para los profesionales y técnicos que se especialicen en el tema, y que luego completen su formación en el extranjero.

9.2.5 Necesidad de preparar personal

La OIEA recomienda que durante la primera etapa (Milestone Nº1) el NEPIO debe considerar lo siguiente [101]:

- *Evaluating the attitudes and organizational culture prevailing in the national industries and management, their suitability for the nuclear environment, and practicality of instilling a safety culture in the required period of time;*
- *Recognition of the full range of scientific and technical disciplines needed for a fully functioning nuclear power programme;*
- *Assessment of the availability of those disciplines within the nation;*
- *Assessment of the educational capabilities within the nation or from foreign sources to produce individuals for those disciplines;*
- *Identification of the specialized training needed for even experienced personnel in nuclear safety, security, safeguards, radiation protection and management system;*
- *Assessment of the availability of specialized training from either foreign or domestic sources;*
- *Development of firm plans to obtain, either by purchasing or developing, the resources necessary for the initial start of the nuclear programme;*

- *Development of firm plans to obtain the flow of human resources over the life of the nuclear programme.*

Un análisis detallado del estado actual en Chile de cada uno de los puntos indicados está fuera del alcance del presente Estudio. Sin embargo, en lo que sigue, se establecen algunos principios que este Consultor considera importantes relacionados con la necesidad de recursos humanos para el desarrollo de un Programa Nuclear.

En la medida que Chile decida desarrollar un Programa Nuclear, se deberá preparar a un equipo de profesionales que permitan llevarlo a cabo, tanto en el plazo que se establezca como con los costos esperados, así como con la calidad de los desarrollos acorde a un programa de este tipo.

El primer contingente de profesionales que se especialicen deberá colaborar con el NEPIO en el desarrollo del Programa Nuclear, considerando principalmente las siguientes dimensiones:

- Se deben tomar decisiones informadas sobre una diversidad de aspectos, entre otros:
  - Las áreas que serán desarrolladas completamente en el país, las que serán desarrolladas parcialmente y las que serán adquiridas mayoritariamente en el extranjero.
  - La forma de contratar cada una de las partes de la central nuclear y los servicios asociados.
  - Los proveedores que se contactarán y contratarán.
  - La estrategia que se ocupará para asegurar el suministro de combustible y la disposición de los desechos.

- Servir de contraparte a los proveedores, desde la etapa de elaboración de las bases hasta la puesta en marcha de la central, pasando por las fases de evaluación y selección de los proveedores y aprobación de los diseños.

Un segundo grupo de profesionales y técnicos deberá ser preparado para operar, mantener y mejorar las instalaciones; es decir, que trabajarán directamente el la central.

Al respecto, los profesionales deberán estar preparados para generar las (esperadas) externalidades a otros sectores. Estas externalidades podrán darse, por ejemplo, impulsando o favoreciendo proveedores nacionales para los componentes que corresponda e impulsando un aumento de las capacidades y calidad de la industria nacional.

9.2.6 Integración internacional

En la actualidad, Chile cuenta con un alto nivel de relaciones internacionales, tanto con los países que pueden proveer la tecnología nuclear como con la OIEA. Estas relaciones podrán facilitar el desarrollo de un Programa Nuclear. También, el país cuenta con la colaboración de estos países y organizaciones, la que se traduce por ejemplo en programas de capacitación y colaboración en el desarrollo de algunos proyectos.

Como parte del Programa Nuclear, deberá revisarse esta colaboración y definirse los países y temas que se profundizarán con cada uno de ellos. Algunos aspectos en que puede profundizarse son:

- Entrenamiento, por ejemplo compartiendo simuladores de centrales
- Formación y capacitación
- Compartir algunas instalaciones, reduciendo la inversión necesaria y los costos fijos
- Realizar desarrollos conjuntos

Es interesante indicar que la integración no necesariamente debe realizarse con Brasil y Argentina (que son geográficamente cercanos, pero tienen un mayor desarrollo nuclear). Si no también puede realizarse con otros países de la Región o incluso con otros más lejanos, pero que puedan tener una problemática más similar a la chilena.

10. CONCLUSIONES

El análisis de los aspectos legales realizados revela que no existen impedimentos o limitaciones para desarrollar o implementar todas las etapas del ciclo de combustible nuclear en Chile. De la misma manera, no se han detectado impedimentos tecnológicos que impidan o limiten la implementación del ciclo en Chile. Sin perjuicio de lo anterior, la etapa de enriquecimiento es altamente sensible en la comunidad internacional y los países que poseen esta tecnología no están dispuestos a venderla fácilmente. Por este motivo, creemos que esta etapa no debería ser implementada en Chile, al menos como parte de la primera central nuclear.

Desde este punto de vista, las etapas restantes de un ciclo y que podrían desarrollarse en nuestro país corresponden a:

- Minería: La implementación de esta etapa está supeditada a la identificación de un yacimiento económicamente explotable. Además, la explotación de ese yacimiento sería independiente de una central nuclear, al poder exportar toda la producción a terceros países.
- Conversión: Se podría desarrollar como parte de la etapa de minería, para generar un mayor valor agregado a la materia prima exportada.
- Fabricación: Esta etapa puede ser desarrollada en Chile, siendo un complemento a la central. Este proceso podría ser a partir de hexafloruro de uranio gaseoso o a partir de dióxido de uranio.

Sin perjuicio de esta capacidad, la definición de implementar o no parte del ciclo de combustible nuclear en Chile tiene otras consideraciones. Por este motivo, esta decisión debe ser tomada como parte de un Programa Nuclear, en conjunto con el resto de las definiciones que implica un proyecto de esta complejidad. Este Programa Nuclear deberá ser liderado por el Estado (como lo está siendo a la fecha del presente informe) independientemente del modelo de propiedad que se implemente.

La importancia que tendría una central nuclear para el abastecimiento eléctrico en Chile indica que debería utilizarse sólo tecnologías probadas, evitando el uso de prototipos. Siguiendo esta premisa, el uso de torio como combustible debería descartarse, a favor del uso de uranio.

Por otra parte, la decisión de utilizar un ciclo abierto o cerrado puede ser postergada por muchos años. El ciclo abierto es usado por la mayoría de los países en el mundo y representa una tecnología más simple y probada.

Sin embargo, los diseños actuales (Generation III+) permiten el uso tanto de uranio como de MOX, por lo que el combustible gastado puede ser almacenado por un tiempo hasta que decida si se reprocesa o se envía a un repositorio final. El posponer esta decisión tiene la ventaja adicional que permite esperar si en los próximos 20 o más años (antes que el combustible gastado se transforme en un problema) surge alguna tecnología adicional que permita dar un mejor uso a los desechos.

Al comparar la tecnología nuclear y su ciclo de combustible con tecnologías convencionales se observa que es una opción válida para Chile. En efecto, tanto desde el punto de vista de los costos como del impacto medioambiental, los estudios realizados por diferentes organismos indican que la opción nuclear es viable. Incluso según algunos de estos estudios indican que su costo y/o impacto es menor que las otras alternativas.

En cuanto a la disponibilidad de uranio a nivel mundial, éste es abundante y geográficamente distribuido, disminuyendo la dependencia de un grupo de países en particular. Además, para incrementar la independencia energética, es posible almacenar uranio para cinco o más años de operación de la central (estrategia de redundancia). Adicionalmente, es posible optar por una estrategia de varios proveedores alternados para el abastecimiento del uranio, evitando la dependencia de uno específico (estrategia de diversidad). De esta forma, es posible aislar el funcionamiento de la central de las variaciones del mercado y de las políticas internacionales de determinados países.

Finalmente, desde el punto de vista jurídico, es necesario actualizar la legislación nacional a las últimas recomendaciones del OIEA y adecuarla a la escala requerida para una central nuclear de potencia.

ANEXOS

ANEXO A

TIPOS Y TAMAÑOS DE PLANTAS NUCLEARES

11. ANEXO A: TIPOS Y TAMAÑOS DE PLANTAS NUCLEARES

11.1 SNUPPS

11.1.1 Isla Nuclear

El diseño SNUPPS es un Sistema de Planta de Unidad de Potencia Nuclear Estandarizado (Standardised Nuclear Unit Power Plant System) que fue desarrollado por 5 empresas de Estados Unidos a fines de los años 70's. Las 5 empresas formaron el Nuclear Projects Incorporated (NPI). SNUPPS estaba basado en el sistema Westinghouse (W) Nuclear Steam Supply System (NSSS) de 4-loops 3425 MWth y características de otras plantas incluyendo el bloque de conversión de potencia que fue conocido como el diseño Bechtel Generis Design (BGD). El BGD comprende el edificio del reactor (contención primario), el edificio auxiliar, el edificio de combustible, el edificio de control, el edificio de generador diesel, el edificio de residuos radiactivos, el sector de la turbina y todos los sistemas y equipos que tienen estas instalaciones. El BGD ha sido usado en cinco unidades en Estados Unidos (tres en Palo Verde, Callaway y Wolf Creek), en España (2 unidades), en Taiwán (4 unidades), y en Corea (4 unidades); ha sido usado con el sistema W y el sistema de Ingeniería de Combustión NSSS de tres o cuatro loop. Después del accidente de Three Mile Island en los Estados Unidos, el interés en la construcción de este diseño por parte de las empresas SNUPPS declinó y sólo se construyeron dos unidades SNUPPS en los Estados Unidos - Callaway en Missouri y Wolf Creek en Kansas.

La Central Electricity Generating Borrad (CEGB), entonces empresa de electricidad para Inglaterra y Gales en el Reino Unido, tomó una licencia con NPI para construir una planta SNUPPS en Inglaterra que es conocida como Sizewell 'B'. El diseño Sizewell 'B' [1, 2] está basado en el diseño SNUPPS, pero se le hicieron cambios, incluyendo un sistema diferente de apagado conocido como Emergency Boration System, una contención secundaria cubriendo la contención primaria, una contención primaria con un diámetro mayor para reducir la presión de diseño y para proporcionar más espacio para el uso durante paradas de la planta y cambios al Emergency Charging System (Sistema de Carga de Emergencia) y el Coponent Cooling Water System (Sistema Componente de Enfriamiento de Agua).

El diseño es de cuatro-loops W PWR con 193 unidades de combustible capaces de producir 3,425 MWth con una salida a la red eléctrica de aproximadamente 1,1 MWe. El diseño de combustible (ver Figura 15) es un arreglo estándar de 17 x 17 barras; esto comprende 264 barras de combustible (ver Figura 16), 24 tubos dentro de los cuales pueden ser insertados el Rod Cluster Control Assemblies (RCCA's), fuentes de neutrones o absorbentes discretos,

y un tubo timble central dentro del cual se inserta y mueve la instrumentación de las cámaras de iones en el núcleo.

El Reactor Pressure Vessel (RPV) para el Sizewell 'B' está hecho de una única fragua cilíndrica sin soldadura en la región del núcleo activo. El diámetro interno del RPV es de 4.39 m con un espesor de pared de 210 mm y un revestimiento interno de 5 mm de espesor como mínimo. El revestimiento está hecho de acero inoxidable y proporciona protección a la corrosión al RPV mismo. La altura completa del RPV incluyendo la cabeza del cierre es de 13.36 m [3].

Para el Sizewell 'B' la contención consiste en una envoltura cilíndrica de 1.3 m de espesor de concreto pre-tensado, acero y con una funda de acero carbono de 6 mm de espesor. El diámetro interno es 45.7 m con un domo hemisférico en la parte superior dando una altura interna máxima de 64 m. Esta contención es levemente mayor que el diseño estándar SNUPPS, el tamaño aumentado permite más área libre para la mantención y la inspección de servicio y para acomodar las bombas enfriadoras de 50 Hz del reactor que se requieren para el Reino Unido. Una característica novedosa del diseño de Sizewell 'B', para ese tiempo, fue la colocación de la Contención Secundaria. Este es el edificio de cierre de marco de acero con interespacio entre las contenciones primarias y secundarias con una menor presión atmosférica para mitigar la carencia de atmósfera de la contención primaria.

La frecuencia de un choque de avión en cualquier parte del Sizewell 'B' ha sido evaluada como 1.5×10^{-5} por año. Como edificios vulnerables se han establecido los de contención primaria, el vapor y las celdas de alimentación, el edificio auxiliar, el edificio de control y el edificio de combustible. Tomando esto en cuenta, la frecuencia de impacto de un avión sobre estas estructuras baja a 7×10^{-7} por año. Además, tomando en cuenta el diseño de estas estructuras, se espera que un avión de menos de 2.3 toneladas tenga poca oportunidad de causar un daño significativo a la estructura. Por lo tanto, no fueron tomadas medidas específicas del diseño del Sizewell 'B' para mitigar los efectos de un choque de avión. Es más, la respuesta dinámica de los edificios para impacto de avión es similar a un evento sísmico y, por lo tanto, calificación de seguridad sísmica del equipamiento relacionado a la seguridad soporta los efectos dinámicos del choque aéreo [4].

En forma similar, no se han tomado medidas de diseño específicas para el Sizewell 'B' para mitigar los efectos de las ondas de explosión externas, dado que las posibles fuentes de dichas ondas de presión estén distantes y remotas de la estación de potencia [5].

En el Informe de Seguridad Pre-operacional la frecuencia del daño al núcleo en el Sizewell 'B' ha sido establecida [6] como 3.4×10^{-5} por año.

11.1.2 Características de seguridad de ingeniería y control

La reactividad es controlada por medio del ajuste de la concentración de boro en el Circuito Primario y por el ajuste de la posición del Rod Cluster Control Assemblies (RCCA's). El RCCA's es un sistema de cierre rápido que consiste en un montaje de 58 barras de control que contienen una aleación de plata-indio-cadmio como material absorbente de neutrones. Según la diversidad y redundancia a la RCCA's existe un Emergency Boration System (EBS) que inyecta agua con boro a alta presión dentro del núcleo en el evento que todo el complemento del RCCA's falle, para insertar completamente el núcleo del reactor bajo ciertas condiciones de accidente.

Los principales sistemas de seguridad están diseñados con una arquitectura de cuatro vías con cada una de ellas separadas espacialmente para reducir la posibilidad de Falla de Causa Común debido a peligros externos, fuegos generados internamente y misiles.

En el diseño SNUPPS, como para todas las plantas W four-loop de esa época, la instrumentación del núcleo comprende cámaras de iones que pueden ser movidas adentro y afuera del núcleo a través de penetraciones inferiores a la Nave de Presión del Reactor. Se acoplan con el tubo central en el Montaje de Combustible. Los detectores pueden ser usados para proporcionar un mapa del flujo en intervalos regulares durante la operación del reactor y para recalibrar los detectores de externos al núcleo, de los cuales hay cuatro distribuidos simétricamente alrededor del núcleo (en la circunferencia de la nave de presión). Los detectores externos son usados para controles instantáneos de la potencia del núcleo y como una entrada al Sistema de Protección del Reactor.

11.1.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

El combustible gastado es almacenado en estantes (racks) bajo agua con boro (2000 + 50 ppm de boro) en el Spent Fuel Pool (SFP); los racks tienen un espacio cuadrado de 267 mm e inicialmente sólo 579 posiciones de rack fueron entregadas, aunque el SFP podía acomodar 1377 racks [7. La cantidad de 579 posiciones corresponde a aproximadamente cinco años de combustible gastado basado en un esquema anual de rellenado de 3 batch. El SFP está cubierto con acero inoxidable austeniticio de 6 mm de espesor y la manipulación del combustible es asumido por una máquina W SIGMA (Single Integrated Gripper / Mast Assembly). Junto al SFP hay tres áreas que contienen el canal de transferencia de combustible dentro de la contención, el área de llenado del contenedor y el área de preparación del contenedor.

Desde el comienzo de la operación de Sizewell 'B' en 1994 el SFP ha sido vuelto a reorganizar con racks de alta densidad proporcionados por Holtec Internacional. No se ha tomado ninguna decisión acerca de la disposición última del combustible gastado y actualmente el MOX no es usado en el Reino Unido.

11.1.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos

Los sistemas se proporcionan para la gestión y tratamiento de desechos radioactivos líquidos, gaseosos y sólidos producidos durante la vida operacional de la planta.

11.1.4.1 Desechos radioactivos líquidos

El Sistema de Desechos Radioactivos Líquidos (Liquid RadWaste System – LRWS) está ubicado en el Edificio de Almacenaje y Procesamiento de Desechos Radioactivos. Este procesa los desechos radioactivos líquidos del sistema del Sistema de Enfriamiento del Reactor, los desechos de lavandería y químicos, desagüe de pisos y equipos. El LRWS también puede ser usado en condiciones de limpieza después de un accidente del reactor. El LRWS se divide en cinco corrientes de proceso [8] a saber:

i. Canal de Desagüe A (Drain Channel A, DCA)
ii. Canal de Desagüe B (Drain Channel B, DCB)
iii. Sistema de Desagüe Químico (Chemical Drains, CDT)
iv. Sistema de Tanque de Desagüe de Enfriamiento del Reactor (Reactor Coolant Drain Tank, RCDT)
v. Sistema Activo de Lavandería y Ducha Caliente (Active Laundry and Hot Shower System LHSS)

El DCA consiste en un tanque con contenido de desecho radioactivo, un evaporador de desecho radioactivo asociado con la planta y equipo, un absorbedor de carbón vegetal de desecho radioactivo, un tanque destilador de evaporación de desecho radioactivo y una planta de filtración y desmineralización asociada, un tanque monitor y bomba de descarga. El desmineralizador del destilado del evaporador es usado para remover especies iónicas del destilador. La función del carbón vegetal activado en el absorbedor de carbón vegetal es remover las impurezas orgánicas y rastros de aceite de las corrientes de desechos. El LWRS puede ser purgado en la partida con nitrógeno para remover el oxígeno o puede ser purgado con agua desmineralizada para remover el aire si es necesario. Todas las descargas del LRWS son bombeadas a través de la descarga principal de desechos radioactivos a la

cámara de agua circulante (Circulating Water - CW), donde sucede la dilución antes de la descarga, por la caída del CW, al mar.

El DCB consiste en dos tanques de drenaje de piso activos con equipo de bombeo y filtración asociados, un tanque monitor y bomba de descarga. Este sistema procesa líquido del desagüe del piso incluyendo a aquellos en el edificio de Spent Fuel Pool y del Steam Generador Blowdown System (es decir, agua enfriada en el sistema secundario). En general el DCB es usado para líquidos de proceso con menor radioactividad que en la DCA.

El sistema CDT consiste en dos tanques con bombas y equipo de filtración asociados. Un tanque recolecta líquido fresco mientras que el otro tanque es usado para el decaimiento tardío y el monitoreo previo a la descarga. Existe una conexión cruzada al Solid Radwaste System que se requiere para la encapsulación de residuos químicos sólidos.

El LHSS consiste en una lavandería activa y tanque de ducha caliente, bomba, filtro y tanque colador, con un tanque monitor y bomba de descarga. Las entradas desde las duchas y lavamanos son monitoreados y si la actividad es lo suficiente baja para ser descargada sin el procesamiento previo, la corriente de desechos es dirigida a la principal descarga de desechos radioactivos.

11.1.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

El Sistema de Desechos Radioactivos Gaseosos (Gaseous RadWaste System – GRWS) está ubicado dentro del Edificio de Almacenaje y Procesamiento de Desechos Radioactivos y opera en conjunto con los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC). El GRWS proporciona un paso lento permitiendo que los radionúcleos de corta vida puedan decaer antes de liberarse al medio ambiente.

La entrada del GRWS [9] es purgada con gas hidrogenado desde el Volume Control Tank (VCT) que actúa para reducir la concentración de los gases producto de la fisión en el Reactor Coolant Syste. También tiene como fuentes los tanques de guarda del Reactor Coolant Drain Tank, el Pressuriser Relief Tank y el Boron Recycle System.

El sistema hace uso de lechos de carbón vegetal para demorar el paso de gases producto de la fisión, dejando tiempo para el decaimiento radioactivo. El Carbon Bed Delay System (CBDS) comprende dos desagües de equipamiento de proceso con interconexiones para asegurar el cumplimiento con el Criterio de Falla Única (Single Failure Criterion). El gas nitrógeno es usado para purgar el sistema de aire e hidrógeno. El CBDS comprende un condensador enfriador, un recalentador de gas, el lecho absorbedor principal de carbón

vegetal y un filtro High Efficiency Particulate Air (HEPA) y el equipo de monitoreo de proceso. Después del proceso en el CBDS el gas es descargado en la atmósfera.

El condensador enfriador reduce los gases entrantes bajo el punto de rocío de aproximadamente de 4ºC. Siguiendo este proceso de secado los gases entrantes son calentados a, por lo menos, 18ºC en el recalentador previo a su entrada en los lechos de seguridad que son proporcionados para prevenir la humedad de los principales lechos absorbentes de carbón vegetal en el evento de que falle la unidad de refrigeración. El carbón vegetal en el lecho de seguridad y el lecho principal de carbón es dirigido a la última estación de proceso. Los lechos de carbón han sido designados para proporcionar un período de contención de aproximadamente 91 días para el xenón.

11.1.4.3 Desechos radioactivos sólidos

El Sistema de Manejo de Desechos Sólidos (Solid Radioactive Waste Management System) [10] es proporcionado dentro del Edificio de Desechos Radioactivos y procesa las siguientes corrientes de desechos:

- Cartuchos de filtros gastados
- Resinas gastadas de los demineralizadores
- Concentrados de evaporadores y desechos químicos
- Materiales sólidos tales como el papel, ropas contaminadas, hojas de plástico, etc. usados durante mantención y operaciones.

Los tanques de decaimiento de acero inoxidable son proporcionados para el almacenamiento de resinas usadas y de desechos químicos, después de un período adecuado para permitir para su decadencia radioactiva, los desechos sean procesados con cemento o polímero para encapsular el desecho en un contenedor de protección sellado. El aumento anual de resinas de intercambio de iones y concentrados químicos es aproximadamente 50 m^3.

Los desechos secos son procesados ya sea por compactación en tambores de metal o por incineración. El desecho seco compactado es enterrado en un suelo poco profundo en el Low Level Waste Repository en Drigg en Cumbria (Reino Unido). El volumen de desechos generados para disponer por este medio es aproximadamente 180 m^3 por año.

Otra fuente de desecho radioactivo sólido son los componentes irradiados removidos y reemplazados durante el relleno y mantención (parada de la planta). Generalmente estos componentes son almacenados en el Spent Fuel Pool. La principal radioactividad de estos

componentes viene de la activación de neutrones que produce el cobalto-60 que es de vida relativamente corta, con un promedio de vida media de ~ 5 años.

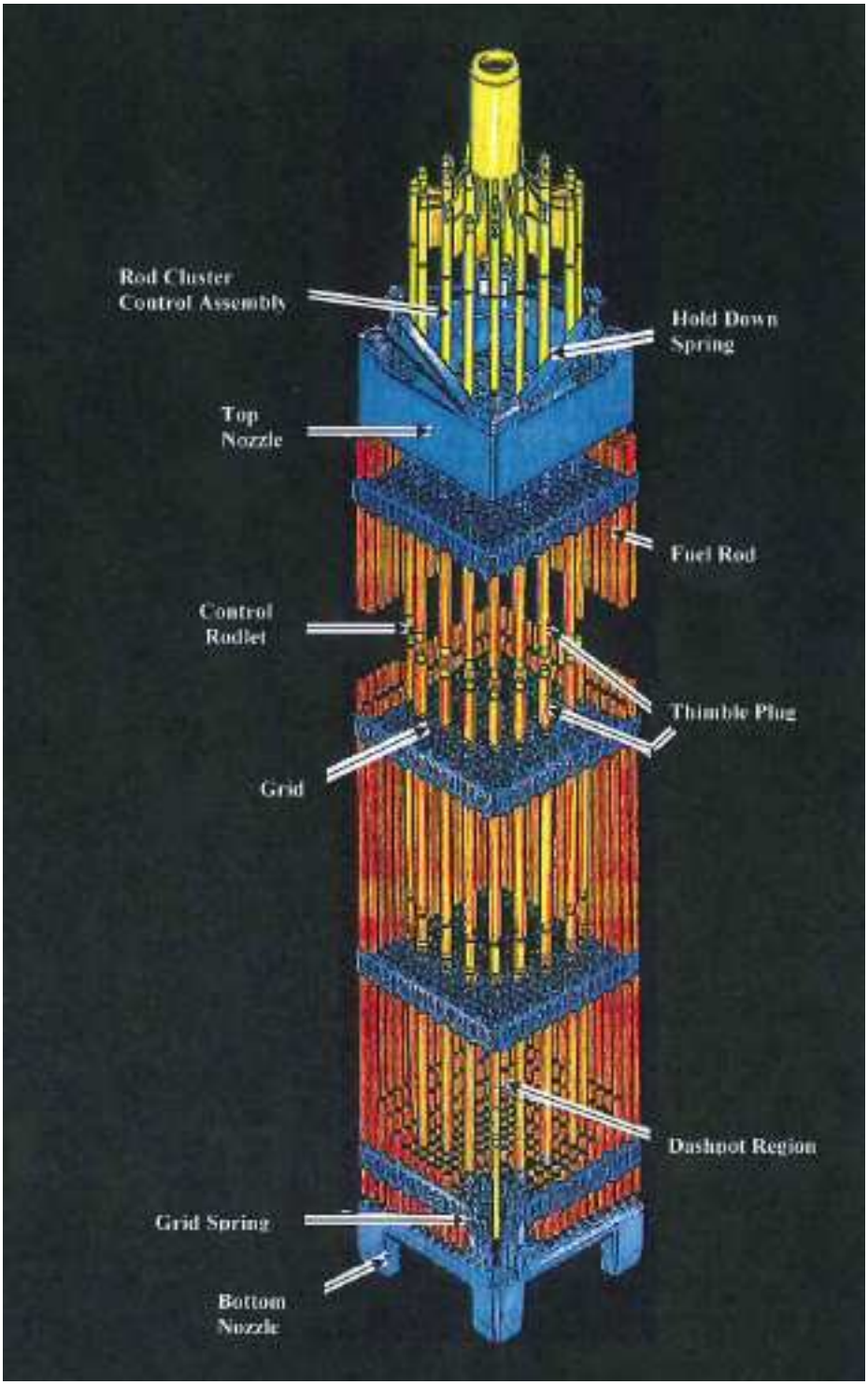


Figura 15 Arreglo de combustibles PWR 17 X 17

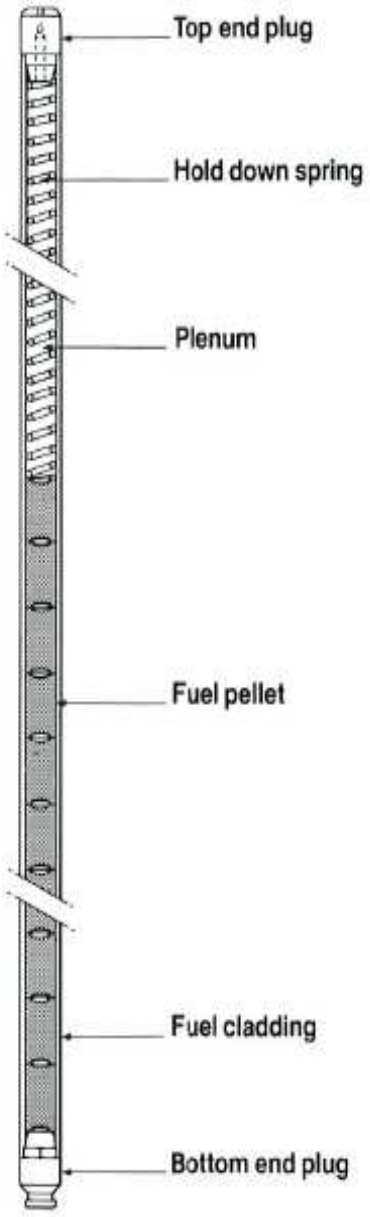


Figura 16 Barra de combustible LWR típica

11.2 AP 1000

11.2.1 Isla Nuclear

El AP1000 conserva la configuración de diseño del AP600, pero tiene una potencia térmica del núcleo incrementada para mejorar el costo de capital en términos de $ / kWe instalados. El diseño ha sido enviado para certificación de diseño USNRC, y fue completada para la Revisión 15 de Design Control Document (DCD) en Enero de 2006. Es el único reactor Gen III + en recibir la certificación de Diseño (Design Certification) de la USNRC. El DCD ha sido actualizado en la Revisión 16 y enviado para Certificación de Diseño USNRC, que se espera para Marzo del 2010.

Como con el AP600, la planta es un diseño de dos loops. El Reactor Pressure Vessel (RPV) es un cilindro de acero forjado de aproximadamente 12 m de altura y 4 m en su diámetro interno [11]. Los circuitos de transferencia de calor comprenden una etapa caliente simple y dos etapas frías cada una con un motor asociado a la Bomba de Enfriamiento del reactor (Reactor Coolant Pumb) que está ubicada dentro del Generador de Vapor. El calor dentro del Generador de Vapor es transferido desde el Primary Coolant de alta presión al Secondary Coolant de presión menor el que permite hervir y producir el vapor que es conducido a un turbina – generador para producir electricidad, a continuación el vapor es condensado y regresado al Generador de vapor para ser hervido de nuevo. El montaje de 157 barras de combustible en el núcleo produce 3,415 MWth permitiendo 1,117 MWe de salida eléctrica.

El AP1000 tiene menos componentes, menos cables y un volumen de edificio sísmico menor que una planta Gen III 1,000 MWe de referencia [13].

Tabla 30: Comparación del AP1000 con una planta de referencia de 1,000 MWe

Componente	AP1000	Planta de Referencia de 1,000 MWe
Bombas	180	280
Válvulas de clase de seguridad	1,400	2,800
Válvulas de clase de cañerías (m)	5,791	33,528
Cables (millones de m)	0.37	2.8
Volumen del edificio sísmico (millones de m^3)	0.16	0.36

El Circuito Primario del núcleo del reactor y los dos loops de enfriamiento principales están alojados dentro de la nave de contención de acero que se ubica dentro del edificio de reactor de concreto prearmado. La nave de contención es una estructura de acero alta integridad de 39.6 m de diámetro y 44.4 mm de espesor; el edificio del reactor tiene un diámetro interno de 43 m, un espesor de pared de 0.9 m y una altura de 83.3m [13]. Un tanque de almacenamiento de contención de agua de enfriamiento se ubica en el techo del edificio del reactor. En el evento de un Accidente Severo, esta agua es usada como fuente para un sistema spray pasivo que se descarga para enfriar la nave de contención de acero, reduciendo de esta manera la presión dentro de la contención. Luego de la descarga del tanque de almacenamiento de agua de enfriamiento para la contención, se mantiene el enfriamiento de la contención por medio de circulación continua de aire. Con este sistema W sostiene que la presión de diseño de la nave de contención de acero no se excede y el sistema de aislamiento de la contención asegura que la contención a la penetración relevante esté cerrada, de modo que cualquier radioactividad que pueda salir del núcleo es contenida.

Dentro de la nave de contención está el In-containment Refuelling Water Storage Tank (IRWST). Este está diseñado para inundar la cavidad del reactor en el cual la se ubica Nave de Presión del Reactor en el evento de que se produzca un sobrecalentamiento del núcleo. En este sentido, el exterior del RPV es frío y el W sostiene lo que protegerá al RPV de una falla y reducirá la probabilidad de la falla de la contención debido a la interacción del núcleo con el concreto.

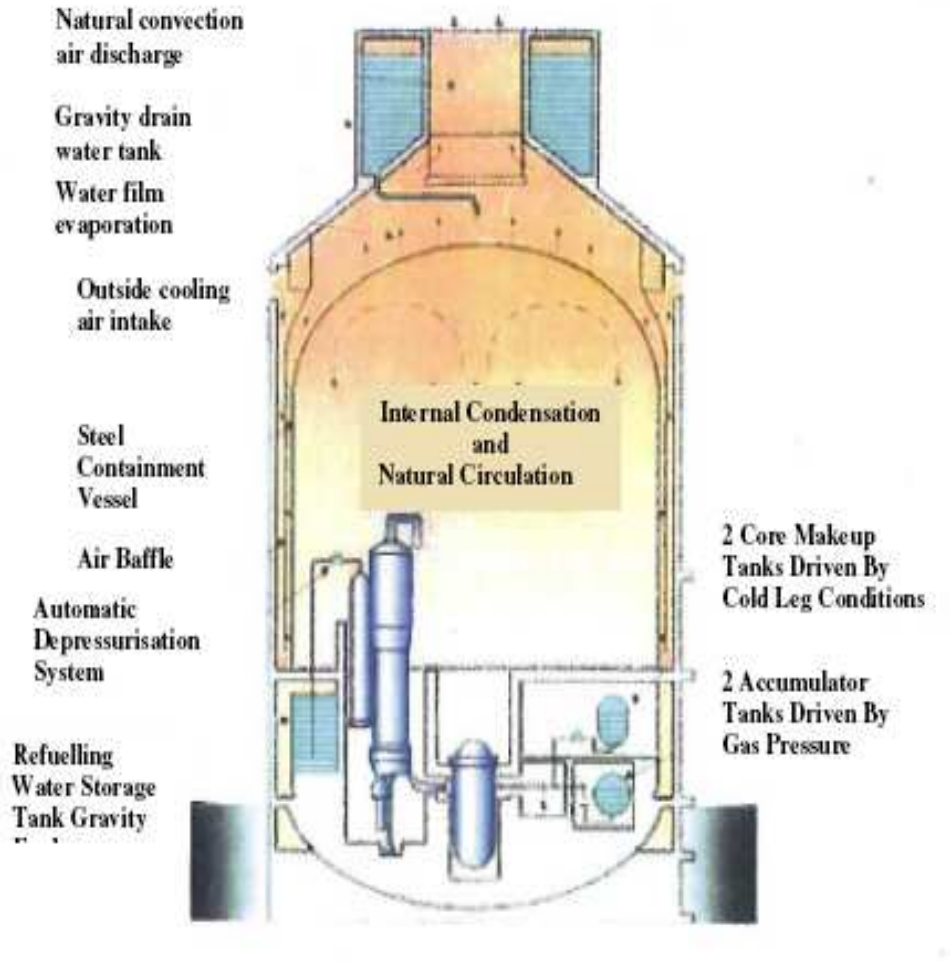


Figura 17 AP 1000 Sistema de enfriamiento del contenedor

Fuente: Westinghouse AP 1000 brochure [13]

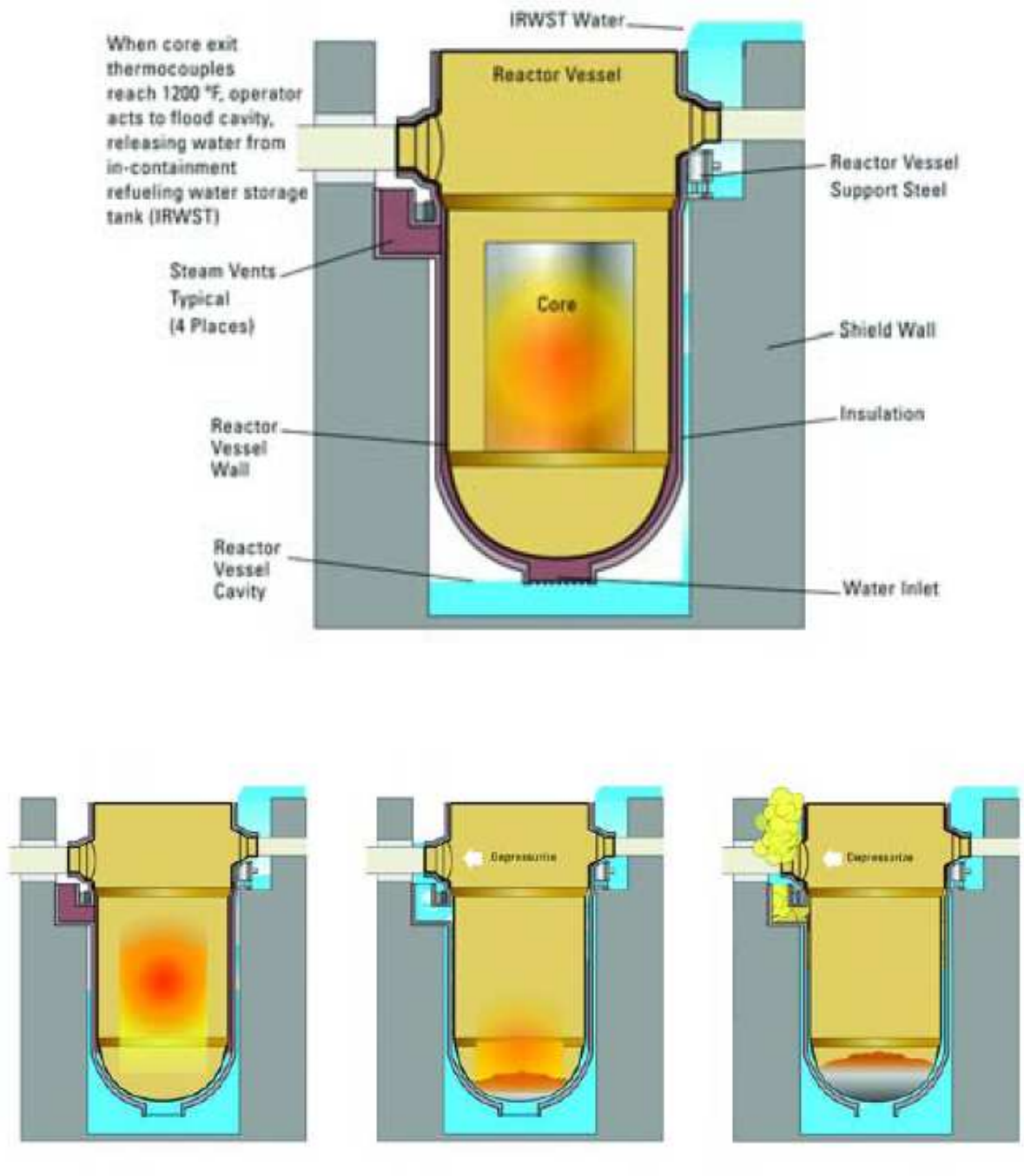


Figura 18 AP 1000 Sistema de retención del núcleo fundido

Fuente: Westinghouse AP 1000 brochure [13]

11.2.2 Características de seguridad de ingeniería y control

El sistema de control de reactividad comprende las barras de control del reactor y el sistema de enfriamiento por boro del reactor. Las barras de control del reactor están compuestas de 53 Rod Cluster Control Assemblies (RCCA's) y 16 Gray Rod Cluster Assemblies (GRCA's) [14]. El RCCA consiste en 24 barras de plata-indio-cadmio absorbedor de neutrones negros revestidas en acero inoxidable. El GRCA consiste en 12 barras de acero inoxidable y 12 barras de diámetro reducido de plata-indio-cadmio revestidas en acero inoxidable. El GCRA's es usado para maniobrar la carga del reactor.

El sistema de enfriamiento pasivo del núcleo hace uso de tres fuentes de agua para la inyección de seguridad. Estas están compuestas de los tanques de make-up del núcleo, los acumuladores y el IRWST. Los sistemas de inyección de seguridad están conectados directamente al RPV reduciendo de ese modo la probabilidad que el flujo de inyección se derrame en el evento de un quiebre en la tubería principal de enfriamiento. Si bien W sostiene que esta disposición de sistemas de inyección de seguridad es efectiva en proporcionar la remoción del calor del núcleo bajo condiciones de accidentes, ninguna licencia para operar una planta con estas características ha sido otorgada aún en cualquier parte del mundo. Sin embargo, como parte del proceso Generic Design Assessment del Reino Unido para certificación de diseño de una nueva planta nuclear en el Reino Unido, el regulador (HM NII) solicitó al OIEA asumir una revisión técnica del diseño AP1000 (DCD Rev. 16); la revisión del OIEA no reveló ningún problema fundamental de seguridad.

11.2.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

El combustible usado se almacena en racks bajo agua boratada (2,700 ppm) [15] en la piscina de almacenamiento de combustible usado por aproximadamente 18 años, pero el tamaño y por lo tanto la capacidad de la piscina de almacenamiento de combustible usado puede ser variable y podría tener el tamaño para el tiempo de vida de la planta. Es una práctica normal mantener la capacidad de una descarga de núcleo completo (157 montajes de combustible) en la piscina de combustible usado en caso que sea necesario realizar una inspección durante la operación (In-Service Inspection) del RPV. También es una práctica normal segregar una parte de la piscina de combustible usado donde se pueden almacenar los montajes de combustibles con barras de combustible falladas.

Los componentes del núcleo del reactor, tales como RCCA y GRCA dañados, las barras fuentes de neutrones primarias (usando californio) y secundarias (usando antimonio-berilio), montajes de tóxicos quemables (usando vidrio borosilicato o pellets tóxicos quemables anulares húmedos) y otros pueden ser almacenados en la piscina de combustible usado.

En los Estados Unidos ha sido costumbre cuando la capacidad de la piscina de combustible usado está aproximándose a estar totalmente utilizada, remover el combustible irradiado que ha vivido ahí por años (> 10 años) desde la piscina y ubicarlo en un almacenamiento tipo contenedor seco. ANC y Holtec son dos proveedores independientes de vendedores de tales contenedores, pero también pueden obtenerse de W. Los barriles secos son almacenados normalmente en el lugar y actualmente ha sido costumbre poner los contendores en bunkers de almacenamiento de combustible usado para mitigar el riesgo de ataque terrorista.

11.2.4 Sistemas para el Tratamiento de Desechos Radioactivos

Durante la operación, mantenimiento y decommissioning de la planta se producen tres tipos de desechos (, líquidos, gaseosos y sólidos). Los sistemas para la gestión y tratamiento de estos desechos generados durante la vida operacional de la planta son proporcionados, pero la capacidad de estos sistemas es tal que no pueden manejar el volumen de desechos producidos durante el decommissioning. No es necesario construir sistemas de gestión de desechos de decommissioning puesto que durante la vida operacional de la planta de más de 60 años, la tecnología cambiará y mejorará de modo que este decommissioning podrá ser asumido por la Mejor Tecnología Disponible en ese momento.

11.2.4.1 Desechos radioactivos líquidos

La principal fuente de desechos radioactivos es el enfriamiento primario. El enfriamiento primario puede contener:

- Productos de corrosión activados (tal como cobalto-60) por el contacto con estructuras de acero en el núcleo
- Productos químicos activados usados en el enfriamiento primario (tales como ácido bórico e hidróxido de litio)
- Productos de fisión solubles de defectos del revestimiento en las barras de combustible (tales como yodo-131 y cesio-137)

El desecho radioactivo es producido por las instalaciones usadas para procesar el enfriador primario. Los efluentes líquidos también son producidos por agua de la piscina del sistema de procesamiento de combustible, descontaminación de componentes de la planta previa a una mantención y lavados desde las duchas de las salas de cambio de ropa y lavandería para limpiado de ropa usada durante la mantención de la planta. Si se detecta una

radiactividad significativa en el enfriador secundario, el generador de Vapor es purgado al sistema de desechos radioactivos líquidos para su procesamiento y depósito.

Las instalaciones de tratamiento comprenden tanques de contención y monitoreo, filtros y cuatro lechos de intercambio de iones desmineralizados. Las columnas de intercambio de iones están llenas con zeolite y la primera columna tiene una capa de carbón vegetal activado para remover el aceite del efluente que viene del desagüe del piso. Los filtros están dispuestos para proporcionar pre-filtración a los lechos de intercambio de iones y post-filtración para remover los finos de las resinas.

La radioactividad en la corriente del efluente líquido es reducida a un nivel donde es aceptable para ser descargada con el agua condensada enfriada al medio ambiente. La capacidad de proceso es de 6.3 litros/seg. Una liberación típica de desechos líquidos se predice de 7,287 litros/ día [16].

W ha usado el código US PWR GALE para derivar la predicción de la descarga de líquidos radioactivos desde el AP1000 al medio ambiente. Este predice una descarga anual de 37 TBq de tritio y 9.5 GBq de otros emisores beta o gama [18]. Esto se compara con el promedio anual de descarga del Sizewell 'B' en los períodos de 1995 a 1999 de 39.3 TBq de tritio y 24.4 GBq de otros emisores de beta o gama [12].

11.2.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

La principal fuente de desechos radioactivos gaseosos proviene de la desgasificación del enfriamiento primario. Esto involucra el flujo de Chemical and Volume Control System (Sistema de Control de Volumen y Químico) en el Liquid Waste Management System. Esto resulta en un efluente gaseoso que contiene:

- Tritio de una fisión terciaria con el combustible y la difusión a través del revestimiento del combustible
- Tritio de la activación del litio en el enfriamiento primario
- Carbón-14 de la activación del oxígeno en el agua de enfriamiento
- Gases nobles (tales como xenón y criptón) formados por fisión en el combustible y emitidos a través de defectos en el recubrimiento de la barra del combustible
- Yodo-131 formado por fisión en el combustible y emitidos a través de defectos en el recubrimiento de barra del combustible

La radioactividad gaseosa también puede estar presente en el aire HVAC en el edificio del reactor a través de la activación del argón que produce el argón-41 y en el enfriador

secundario como tritio por la pérdida de enfriador primario a través del grupo de tubos generadores de corriente.

El sistema de desechos radioactivos gaseosos también está diseñado para procesar hidrógeno y asegurar que éste no pueda alcanzar concentraciones explosivas con el oxígeno. Por esta razón el sistema de gestión de desechos radioactivos se maneja con una presión positiva de nitrógeno.

Las instalaciones de tratamiento comprenden un enfriador de gas, un separador de humedad, un lecho de protección lleno de carbón activado y dos lechos de dilación llenos de carbón activado. El efluente pasa sobre los lechos de dilación antes de pasar a través de un monitor de radiación y descargar al ducto de ventilación. El enfriador de gas [17] reduce la temperatura del flujo a aproximadamente 7ºC y la humedad producida por el enfriador de gas es removida por el separador de humedad. Después de dejar el separador de humedad, el gas fluye a través del lecho de protección que protege los lechos de dilación de humedad remanente o contaminantes químicos. Después de esto, el gas fluye a través de dos lechos de dilación de 100% de capacidad donde los gases de fisión sufren una absorción dinámica por el carbón activado y son contenidos siguiendo la decadencia radioactiva para reducir la actividad del efluente.

La mayoría del tiempo, durante la operación normal, W espera que el sistema de desechos radioactivos de gases esté inactivo. Durante estos períodos el bajo flujo de gas de desecho, entra un pequeño flujo gas de nitrógeno al sistema para mantener una presión positiva para prevenir el ingreso de aire.

W [17] ha usado el código US PWR GALE para derivar una predicción de la descarga de gases radioactivos del AP1000 al medio ambiente. Este predice una descarga anual de 12.95 TBq de tritio, 407 TBq de gases nobles, 4.44 GBq de yodo-131, 270 GBq de carbón-14 y 1.74 GBq de otros emisores beta o gama. Esto se compara con el promedio de descarga anual del Sizewell ‘B’ en el periodo de 1995 a 1999 de 673 GBq de tritio, 7.52 TBq de gases nobles, 0.11 GBq de yodo-131, 79.1 GBq de carbón-14 y 0.009 GBq de otros emisores de beta o gama [12].

11.2.4.3 Desechos radioactivos sólidos

Las principales fuentes para los desechos radioactivos sólidos son:

- Resinas usadas de intercambio de iones
- Carbón húmedo activado
- Desechos químicos y desechos líquidos mezclados
- Desechos secos compactables (tales como hojas de plástico, ropa, guantes, filtros HEPA, etc.)

W estima que se producirá un promedio durante la vida de la planta 14.4 m^3 / año de resinas y carbón activado y 40.1 m^3 / año de desechos secos [18].

11.3 EPR

11.3.1 Isla Nuclear

El EPR es un Evolutionary Pressurised Water Reactor (Reactor Evolucionario de Agua Presurizada) de AREVA. Está basado en una evolución del reactor francés Framatome N4 y del diseño alemán de Siemens AG Konvoi. El diseño N4 fue comprado en una operación comercial como Chooz B1 en 1996 y el diseño Konovoi logró una operación comercial primero como Isar 2 en 1988. El diseño es un PWR de 4-loops con 241 barras de combustible capaces de producir 4,500 MWth con una salida de red eléctrica de 1,600 – 1,660 MWe.

El diseño incorpora la experiencia de operación de ambas flotas de reactores, de Francia y Alemania, y cumple con los Objetivos de Seguridad Franco-Alemanes de 1993 [19] y tiene un alto nivel de cumplimiento con los Requerimientos de Utilización Europeos (European Utility Requirements) [37]. Así como el US EPR, éste ha solicitado la certificación de US NR Design Certification, pero no se espera que sea completada antes del 2012 [20].

Figura 19 Vista de corte del EPR

Fuente: AREVA

El RPV está hecho de acero de baja aleación con la superficie interna cubierta por acero inoxidable resistente a la corrosión. Es un cilindro de dos partes de acero forjado de aproximadamente 4.87 m de diámetro interno con una altura de 10.53 m desde la parte inferior del domo hasta el nivel alto [21, 22]

Entre el núcleo y el RPV existe un reflector de neutrones pesados (baffle) para reducir el flujo de neutrones en la nave lo que reduce el flujo de irradiación del RPV. Este reflector se ubica dentro de la protección del núcleo y consiste en bloques (anillos) forjados posicionados uno sobre el otro con enclavamientos y axialmente restringidos por barras sujetas a la placa soporte inferior del núcleo. Tiene canales de enfriamiento de modo que se pueda remover el calor producido por el calentador de rayos gama.

Cada loop comprende una vía caliente desde el RPV al Generador de Vapor, una vía cruzada desde el Generador de Vapor a la bomba principal del Reactor de Enfriamiento y una vía fría desde la salida de la bomba del Reactor de Enfriamiento al RPV.

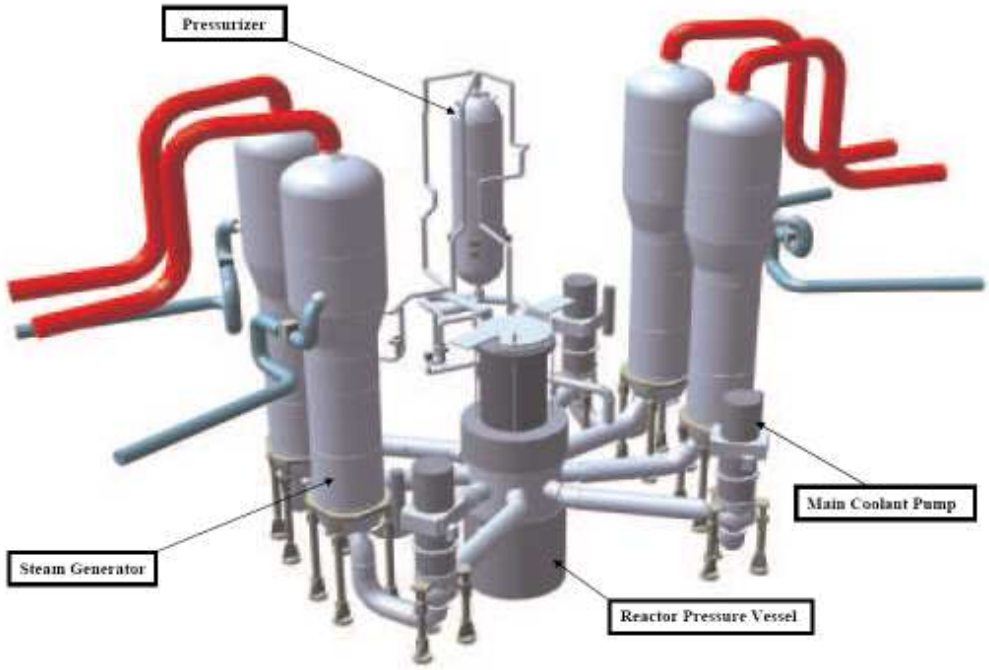


Figura 20 EPR Diagrama del circuito primario
Fuente: AREVA

El Sistema de Enfriamiento del Reactor comprende el núcleo del reactor y los cuatro loops enfriadores alojados dentro de una estructura de contención pre-armada con recubrimiento de acero. El Edificio de Contención está encerrado por un Edificio Protector de concreto reforzado con un espacio anular entre los dos edificios. El muro de Contención es de 1.3 m de espesor y el muro del Edificio de contención es de 1.8 m de espesor. De acuerdo a AREVA / EDF el Edificio Protector está diseñado para soportar cada una de los siguientes eventos en forma separada [22]:

- Un diseño base para un terremoto de 0.25 g
- Una onda explosiva entrante de 10 kPa
- Un choque de avión liviano, avión militar o un gran avión comercial

El Edificio de Contención es más grande que la mayoría de los existente PWR de modo que la máxima presión de contención en una falla en la Ruptura Principal de la Cubierta de Vapor o una Pérdida de Enfriador por Accidente es reducida y se extiende el tiempo antes que se requiera la remoción del calor de la contención.

Dentro del Edificio de Contención existe el Tanque de Almacenamiento de Agua de Relleno en el Contenedor (In-containment Refuelling Water Storage Tank, IRWST) que es una fuente de agua boratada para inyección de seguridad y enfriamiento de contención en el evento de un accidente severo. Mediante el uso de cañerías forjadas para las vías calientes, cruzadas y las frías, AREVA usa un argumento 'break preclusion' para disminuir la posibilidad de un Large Break Loss Of Cooling Accident (LB LOCA) (Accidente Severo de Pérdida de Enfriamiento); sin embargo las bases del diseño de seguridad incluyen Medium y Low Head Safety Injection Systems y un estanque Acumulador (en cada loop) presurizado con nitrógeno para refluir el núcleo del reactor en el evento de un LOCA.

También para mitigar un accidente severo, dentro del Edificio de Contención existe un sistema de retención del núcleo derretido (core catcher). Esto permite al núcleo derretido expandirse dentro de un área confinada y para facilitar el enfriamiento se permimte fallar a un muro que contiene al IRWST dejando fluir el agua boratada a esta área de retención del núcleo derretido. Se proporciona un sistema spray de contención para controlar la presión y temperatura dentro de la contención.

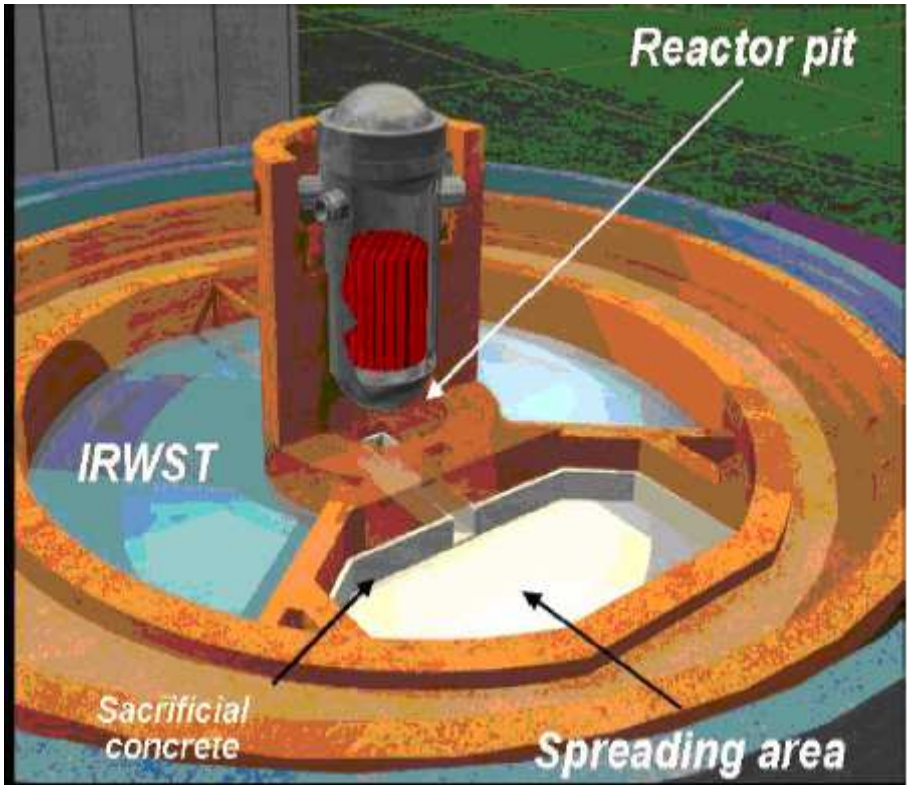


Figura 21 Sistema de retención del núcleo fundido del EPR
Fuente: AREVA

Con estos sistemas AREVA / EDF indican que la Frecuencia de Daño del Núcleo es menor que 10^{-5} por reactor al año y, consecuentemente, la Frecuencia de Liberación Grande es menor que 10^{-6} por reactor al año [22].

11.3.2 Características de seguridad de ingeniería y control

La Reactividad es controlada ajustando la concentración de boro en el Circuito Primario y ajustando la posición de las Barras de Control del Sistema (Rod Cluster Control Assemblies - RCCA's). Las RCCA son un sistema de apagado rápido que consiste en 89 montajes de barras de control que contienen materiales absorbentes de neutrones; éstos son de un diseño híbrido con aleación de plata-indio-cadmio en la parte inferior y carburo de boro en la parte superior [22]. Para diversidad y redundancia al RCCA existe un Extra Borating System (Sistema Extra de Boro) que inyecta agua con boro a alta presión dentro del núcleo bajo algunas condiciones de accidente.

Los volúmenes de agua primarios y secundarios son más grandes que para el convencional PWR (el diseño SNUPPS) y por lo tanto aumenta la inercia térmica del sistema resultando en una baja en el índice de cambio de temperatura en transientes (condiciones de accidente).

Los principales sistemas de seguridad están diseñados a lo largo de una arquitectura de 4-guías, con cada guía de seguridad ubicada en un Edificio de Salvaguarda separado. Estos edificios están espacialmente separados para reducir la probabilidad de fallas comunes por daños externos o internos y dos de los Edificios de Salvaguarda están 'bunkerizados' para fortalecer sus resistencia a daños externos o internos. Esto también es así para el Edificio de Combustible.

En el diseño se incluye un Emergency Feedwater System (Sistema para Alimentación de Agua de Emergencia) para proporcionar agua a los Generadores de Vapor para ayudar con la baja de la remoción del calor en el evento de la pérdida del Feedwater System principal.

Una diferencia adicional con diseño SNUPPS es que no hay penetraciones en el fondo del núcleo montadas al RPV para la provisión de un sistema de monitoreo del flujo en el núcleo. En su lugar se proporciona una instrumentación en el núcleo por medio de una combinación de:

- 12 detectores fingers contenidos en el núcleo axialmente distribuidos del tipo Self-Powered Neutron Detectors
- 36 Conexiones para Termocouplas en el núcleo
- 40 aeroball fingers para proporcionar un sistema de mapeo de flujo móvil de núcleo.

Este sistema de aeroball [22] comprende arreglos de bolas de acero con aleación de vanadio insertados desde la parte alta del RPV las que son transportadas neumáticamente dentro del núcleo del reactor dentro de dedales guías de los Montajes de Combustible. Las bolas son activadas 3 minutos seguidos por 5 minutos para mediciones de actividad después de su recuperación desde el núcleo. La vida media para el V^{52} es 3.7 minutos. AMEC está consciente que este sistema de instrumentación es nuevo y no hay experiencia que apoye su operabilidad y confiabilidad por los 60 años de vida de una planta.

A la solicitud del regulador de seguridad nuclear en el Reino Unido, HM NII, el OIEA ha asumido una revisión técnica del diseño EPR propuesto para construcción en el Reino Unido – el así llamado diseño UK EPR. Esta revisión no revela ningún problema de seguridad fundamental en el diseño. Además, el EPR ha sostenido una evaluación del diseño por los reguladores nucleares en Finlandia y Francia y ha obtenido licencias de construcción en Olkiluoto 3 en Finlandia y Flamanvile 3 en Francia. También cuatro EPR tienen orden de construcción en Taisha en China y la aplicación de Construcción Combinada y Licencia de Operación está siendo evaluada por US NRC en los Estados Unidos.

11.3.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

El combustible usado será almacenado bajo agua en la Piscina de Combustible Usado por aproximadamente 10 años. La estrategia para el UK EPR ha sido especificada por el Gobierno del Reino Unido y requiere que el Desecho de Nivel Intermedio y el combustible usado sean almacenados en el sitio de la planta de poder para la vida operacional de la planta.

11.3.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos

Los sistemas son proporcionados para la administración y el tratamiento de desechos radioactivos líquidos, gaseosos y sólidos producidos durante la vida operacional de la planta.

11.3.4.1 Desechos radioactivos líquidos

Como con el AP1000, el desecho radioactivo líquido es principalmente producido desde el enfriador primario y comprende productos de corrosión activados, productos de activación de químicos en el enfriador primario y productos de fisión volátil liberados a través de defectos en el revestimiento del combustible. Estos son tratados por una mezcla de almacenaje retardado, desmineralizado por resinas de intercambio de iones, desgasificación, evaporación y por filtración.

AREVA / EDF ha proporcionado una estimación para las descargas operacionales anuales al agua para el UK EPR [23]. La liberación de tritio es estimada en 52 TBq/ año con otros emisores beta y gama excluyendo al carbon-14 en 0.6 GBq/año. Los valores correspondientes para el Sizewell ‘B’ promediaron entre 1995 y 1999 39.3 TBq/año y 24.4 GBq/año respectivamente [12].

11.3.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

La principal fuente de desechos radioactivos gaseosos es de la desgasificación del enfriador del reactor. Se agrega hidrógeno al enfriador del reactor mediante Control Químico y de Volumen (CVCS) para el control de oxígeno [22]. El Sistema de Procesamiento de Desechos

Gaseosos limita el contenido del hidrógeno a 4% por volumen y el contenido de oxígeno a 0.1% por volumen para prevenir la formación de una mezcla combustible (4% hidrógeno, 5% oxígeno).

Los gases son dirigidos al sistema de tratamiento del efluente gaseoso donde el gas es secado y luego pasa a través de una línea de tres lechos de dilación de carbón activado para permitir la decadencia de gases nobles. Después de la filtración primaria el desecho de gas es filtrado además a través de filtros de Alta Eficiencia de Particulas de Aire (High Efficiency Particulate Air - HEPA) antes de ser muestrados y monitoreados previo a ser descargados desde la ventilación del edificio del reactor. AREVA / EDF [[23] ha proporcionado una estimación para las descargas operacionales anuales al aire para el UK EPR. Los principales radionúclidos son el tritio a 500 GBq/año, gases nobles a 800 GBq/ño y carbón-14 a 350 GBq/año. Estos se comparan con las descargas reales del Sizewell 'B' cuyo promedio anual entre 1995 a 1999 es de 673 GBq/año, 7.5 TBq/año y 79.1 Gbq/año respectivamente [12].

11.3.4.3 Desechos radioactivos sólidos

El desecho radioactivo que no se descarga directamente al medio ambiente está compuesto por resinas de intercambio de iones, medios de filtros usados, ítems de planta fuera de uso, ropa de protección y herramientas contaminadas, paños, toallitas y aceite usado. Estos son procesados en la planta de tratamiento del efluente sólido previo al depósito fuera del sitio. AREVA / EDF predicen que el aumento anual de desechos radioactivos sólidos se espera que no excedan 80 m^3 [23].

11.4 GE-H ESBWR

11.4.1 Isla Nuclear

El ESBWR corresponde al General Electric – Hitachi's (GE-H) Economic Simplified Boiling Water Reactor. Este ha evolucionado desde los anteriores diseños BWR incluyendo el Advanced Boiling Water Reactor construido en Japón. El ESBWR fue enviado a USNRC para la Certificación del Diseño en Diciembre de 2005 y está programado que se complete para fines del 2009.

El ESBWR es capaz de producir una salida a red eléctrica de 1,535 MWe. El núcleo comprende 1,132 de montajes de combustible del diseño GE14E con un enriquecimiento máximo de 4.2 $^{w}/_{o}$ uranio-235. El enfriador fluye hacia abajo a un espacio anular entre la cubierta del núcleo y la Nave de Presión del Reactor (RPV) y luego fluye hacia arriba a través del núcleo. El hervor comienza cerca de la parte superior del núcleo y la mezcla de dos fases pasa a través de la sección vertical de la chimenea al separador/secador de vapor previo a dejar el RPV y fluir a la turbina. Todo esto ocurre mediante la circulación natural y, por lo tanto, a diferencia de los diseños previos de BWR no requiere de bombas primarias de enfriamiento.

El RPV tiene un diámetro de 7.1 m y una altura 27.5 m y está fabricado de acero de baja aleación (SA-508); tiene un espesor de pared incluyendo la cubierta de acero inoxidable de 182 mm y un espesor mínimo de cubierta de 3.2 mm [24]. El RPV se sitúa dentro de una estructura de contención de concreto reforzado con una cubierta de acero en la sección inferior para ayudar al leak-tightness. El diseño incorpora un 'capturador del núcleo' llamado por GE-H 'BiMAC' (Basemat internal Melt Arrest Coolability); éste usa concreto delgado y agua de enfriamiento pasiva y es utilizado para prevenir el escape de Corio (núcleo derretido) de la contención.

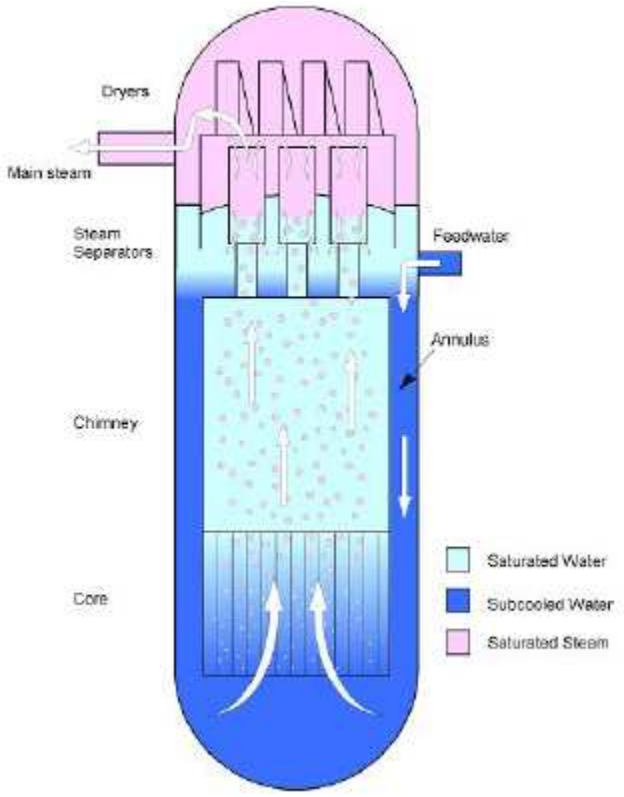


Figura 22 Flujo de Enfriamiento en la nave presurizada del reactor ESBWR
Fuente: General Electric Hitachi Nuclear Energy

11.4.2 Características de seguridad de ingeniería y control

La Reactividad es controlada por las barras de control insertadas desde el fondo del núcleo. Existen 269 barras de control de movimiento fino; estas barras están controladas por mecanismos eléctricos de movimiento fino, pero alternativamente se pueden insertar gatillando la presión hidráulica, de acuerdo a GE-H, la inserción completa se alcanza en ~1.1 segundos. También, se proporciona un sistema de cierre líquido, por inyección de una solución de penta borato de sodio desde los acumuladores presurizados.

Se proporciona el enfriamiento de emergencia del núcleo por un sistema basado en gravedad, que se gatilla por la despresurización del núcleo por un Sistema Automático de Despresurización (Automatic Depressirisation System). GE-H afirma que junto a un suministro de agua adicional desde la Piscina de Supresión, no ocurre el destape del núcleo en el evento de una gran brecha.

11.4.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

El diseño ESBWR enviado a los Reguladores nucleares del Reino Unido tiene una Piscina de Combustible Usado (Spent Fuel Pool) capaz de almacenar 10 años combustible usado de la operación normal y una carga llena del núcleo para posibilitar la inspección en servicio del RPV. Al usar racks de alta densidad, GE-H indicó que la SFP puede ser habilitada para almacenar 20 años de combustible usado, manteniendo la capacidad de carga de un núcleo lleno. Después de este tiempo el combustible usado puede ser movido a un almacenaje húmedo o seco dentro o fuera del recinto del reactor. También es una opción reprocesarlo.

11.4.4 Sistemas para el Tratamiento de Desechos Radioactivos

11.4.4.1 Desechos radioactivos líquidos

El Sistema de Gestión de Desechos Líquidos del ESBWR (Liquid Waste Management System LWMS) tiene estanques para dilación / almacenaje, lechos de resina de intercambio de iones, membranas de osmosis reversa, lechos de absorción de carbón vegetal y filtración de partículas. La remoción de los contaminantes permite que el reciclado del líquido sea adoptado; pero, éste no es un proceso efectivo para permitir la descarga al medio ambiente.

GE-H [25] ha usado el código BWR GALE para predecir las descargas operaciones de líquido anuales al medio ambiente por el ESBWR. Para el tritio la estimación es de 518 GBq/año.

11.4.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

El desecho radioactivo gaseoso del sistema de enfriamiento del reactor es capturado para el tratamiento en el Off-Gas System (OGS). En el OGS un recombinador que recombina hidrógeno y oxígeno producidos por radiolisis y los gases remanentes se secan para remover los líquidos antes de que sean tratados por dilación por medio de una secuencia de cinco camas de dilación de carbón activado. Posterior a esto, los gases son filtrados por filtros HEPA para remover partículas antes de su descarga atmosférica.

La radioactividad gaseosa presente en los edificios es capturada por el sistema HVAC y procesada a través de filtros HEPA, y camas de carbón activado de dilación si se requiere, anterior a la descarga atmosférica.

Así como con las descargas líquidas, GE-H [25] ha usado el código BWR GALE para estimar las emisiones anuales a la atmósfera. Para tritio el estimado es de 2.8 TBq/año y para el carbón-14 es de 0.53 TBq/año.

11.4.4.3 Desechos radioactivos sólidos

El Sistema de Administración de Desechos Sólidos (Solid Waste Management System SWMS) está diseñado para controlar, capturar, manipular, procesar, embalar, y almacenar temporalmente antes de embarcar los desechos radioactivos sólidos generados como resultado de la operación normal, incluyendo los sucesos operacionales anticipados. Esto incluye los sedimentos de las estelas del filtro, las resinas del lecho generadas por el LWMS, el sistema Reactor Water Cleanup/Shutdown Cooling (RWCU/SDC), el Fuel and Auxiliary Pools Cooling System (FAPCS), el sistema de condensados, y los desechos concentrados generados por el LWMS. Los sólidos contaminados tales como HEPA y cartuchos de filtros, tela, plástico, papel, ropa, herramientas y equipos son clasificados y embalados en varios tipos de contenedores de desechos para su disposición off-site. No hay descarga líquida de planta para el SWMS.

El SWMS está compuesto de los siguientes cuatro subsistemas:

- Subsistema de recolección de desechos sólidos húmedos;
- Subsistema móvil de procesamiento de desechos sólidos húmedos;
- Subsistema de acumulación y acondicionamiento de desechos sólidos secos;
- Subsistema de almacenaje en contenedores.

El almacenaje temporal para un volumen superior a un mes de desechos embalados se efectúa en el edificio de desechos radioactivos. Los desechos embalados incluyen contenedores de alta integridad, cajas compactas, contenedores de filtros protectores, y tambores de 208 litros, según sea necesario.

GE-H [26] ha dado estimaciones de aumentos anuales de desecho radioactivo sólido. Los volúmenes en la Tabla 31 muestran el desecho generado y no toma en cuenta ninguna reducción posible de volumen a través de compactación.

Tabla 31 Aumentos anuales de desechos sólidos

Tipo de desecho	Aumento Anual (m^3 / año)
Desecho radioactivo seco	363
Desecho radioactivo húmedo	111
Desecho mezclado	0.4

11.5 AECL CANDU-6

11.5.1 Isla Nuclear

El CANDU-6 es un reactor moderado con agua pesada y enfriado con agua pesada a presión en el tubo del reactor, que puede ser reabastecido de combustible a potencia completa del reactor. El uso de agua pesada, D_2O, permite el uso de combustible de uranio natural (no enriquecido). El diseño CANDU-6 es de la Atomic Energy of Canada Ltd., AECL, su nombre significa CANadian Deuterium Uranium.

Tabla 32: Unidades en operación de CANDU 6

País	Unidad
Canadá	Point Lepreau
Canadá	Gentilly 2
Argentina	Embalse
Rumania	Cernavoda 1
Rumania	Cernavoda 2
Corea	Wolsong 1
Corea	Wolsong 2
Corea	Wolsong 3
Corea	Wolsong 4
China	Qinshan 1
China	Qinshan 2

El montaje del reactor consiste en un cilindro horizontal de acero inoxidable llamado el Calandria que contiene el moderador de agua pesada a baja presión y ~380 tubos horizontales de presión que contienen los cilindros de combustibles [27, 28]. El Calandria está ubicado en el sótano del reactor, que es un estanque de concreto revestido de acero lleno con agua liviana para proporcionar protección térmica. El agua pesada presurizada circula a través de tubos de presión y transfiere el calor a los generadores de vapor. El CANDU-6 tiene dos loops de transferencia de calor, cada uno sirviendo a la mitad de los tubos de presión. El número de tubos de presión en el CANDU-6 puede variar de 380 a 480; las plantas Bruce A y Bruce B (no reactores CANDU-6) tienen 480 tubos de presión / canales de combustible.

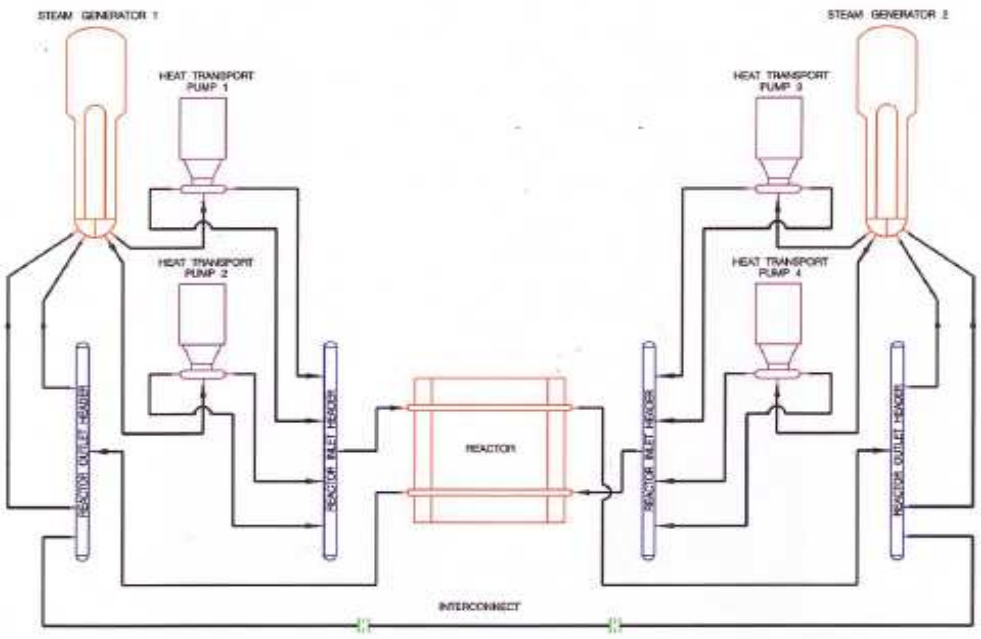


Figura 23 Sistema de transporte de calor de CANDU-6
Fuente: AECL

El tubo de presión está hecho de aleación de zirconio-niobio y se aloja en un tubo de zirconio del Calandria. Cuatro espaciadores se ubican a lo largo del tubo de Calandria para mantener la separación entre el tubo de presión y el tubo de Calandria. Los interespacios están llenos con dióxido de carbón para mantener el aislamiento térmico y reducir la transferencia de calor al moderador D_2O. Cada tubo de presión es de 6m de largo y puede alojar 12 arreglos de combustible. El arreglo de combustible del CANDU-6 está compuesto de 37 barras dispuesta en una configuración de anillo concéntrico 1, 6, 12, 18 de barras de combustible.

Figura 24 Arreglo de combustible de CANDU-6
Fuente: AECL

Aproximadamente el 4% de la potencia térmica del reactor aparece en el moderador. Esta proviene del calentamiento por rayos gama, la rápida moderación del neutrón y el calor transferido desde los tubos de presión. El moderador es circulado a un intercambiador de calor para mantener la temperatura de entrada del moderador en 70 ºC. La Radiólisis del moderador resulta en la producción de deuterio y oxígeno, pero el gas cubierto de helio previene la acumulación de estos gases por aquellos recombinados catalíticamente para formar agua pesada. El pD también es controlado para reducir la formación de productos de corrosión.

El flujo del enfriador a través de los canales adyacentes en el reactor está en direcciones opuestas. La recarga de combustible involucra insertar un nuevo arreglo de combustible en un extremo en la dirección del flujo del enfriador y desplazar un arreglo de combustible al otro extremo del tubo de presión/canal de combustible. Típicamente, se reemplazan cuatro u ocho arreglos de combustibles en el tubo de presión durante una operación de recarga. Para el CANDU-6 aproximadamente 10 canales de combustibles son recargados por semana. Además, los arreglos de combustibles defectuosos pueden ser ubicados y removidos.

La contención es un cilindro de concreto pre-armado de 41.5 m de diámetro y 46 m de alto [28]. En la parte superior del edificio de Contención hay un Dousing Water Tank que suministra un Dousing Water Spray System. El sistema spray (de rocío) comienza a operar automáticamente ante una sobrepresión de 14 kPa y para cuando la presión cae a 7 kPa. Los reguladores y válvulas de la contención se cierran automáticamente para proporcionar aislamiento de contención si se detecta radioactividad gama en los ductos de descarga de ventilación.

11.5.2 Características de seguridad de ingeniería y control

El sistema de Control de Poder hace uso de 14 compartimentos de agua liviana, 21 barras de acero inoxidable y 4 barras de cadmio. Los compartimentos de agua liviana están hechos de 6 tubos verticales que expanden el núcleo del reactor. La potencia en cada zona puede ser controlada agregando o removiendo agua liviana de un compartimiento en esa zona. Las 21 barras de acero inoxidable, conocidas como “Barras Adjuster”, están normalmente completamente insertadas verticalmente en el núcleo y pueden ser retiradas para dar reactividad adicional para compensar la generación de xenón posterior a una gran reducción en la potencia o para dar reactividad adicional en el evento que el sistema de recarga de combustible no está disponible. Mientras las Barras Adjuster normalmente están hechas de acero inoxidable, también pueden hacerse de cobalto, de este modo proporciona cobalto-60 para el uso industrial y medico. Las barras absorbedoras de control de cadmio normalmente

están localizadas fuera del núcleo, pero pueden ser introducidas como suplemento a los absorbedores de control de la zona de agua liviana.

Un control adicional se entrega adicionando boro soluble al moderador. Este normalmente es usado para controlar el exceso de reactividad cuando se introduce el combustible fresco en el reactor. El gadolinio soluble es usado en el moderador después de cortes prolongados cuando la concentración de xenón ha decaído a un nivel mucho más bajo que el nivel de equilibrio normal. Las resinas de intercambio de iones son usadas para remover los tóxicos solubles del moderador cuando no se necesitan.

Se entregan dos sistemas de corte total con capacidad diferentes que están compuestos de 28 barras de cadmio montadas verticalmente y 6 tubos de inyección horizontales de nitrato de gadolinio. La inyección del tóxico es producida por un estanque de helio presurizado.

El Emergency Core Cooling System (ECCS) opera en el evento de un Accidente de Pérdida de Enfriamiento (Loss of Coolant Accident). Los estanques de agua ECCS contienen agua liviana que es forzada por presión de gas (~4 MPa) dentro de la ruptura del Loop de Transferencia de Calor (Heat Transfer Loop). Esto es seguido por la operación de dos bombas ECC que funcionan con agua liviana del estanque dousing. A medida que el agua en el estanque dousing se aproxima al uso completo, el ECCS entra en un modo de recirculación donde el agua en el sótano del reactor es bombeada al Heat Transport System.

11.5.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

Un reactor 600 MW CANDU produce aproximadamente 20 m^3 de arreglos de combustible usado por año. La Piscina de Combustible Usado está diseñada para acomodar el combustible usado que se produzca en 10 años de operación a un factor de capacidad de 80% y una carga de núcleo de combustible descargado por emergencia desde el núcleo del reactor.

11.5.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos

11.5.4.1 Desechos radioactivos líquidos

El Sistema de gestión de los Desechos Radioactivos Líquidos (Liquid Radwaste Management System) está compuesto [29] de cinco estanques de concreto de 50 m^3:

- Estanques 1 y 2 capturan Desechos de Nivel Intermedio
- Estanques 3, 4 y 5 capturan Desechos de Nivel Bajo

Cada estanque tiene una bomba de recirculación para asegurar que los contenidos sean mezclados completamente y los cinco estanques estén interconectados para permitir la transferencia de los contenidos de un estanque a otro. Cada estanque puede ser descargado en el canal de evacuación Condenser Cooling Water (CCW). Durante el bombeo del estanque de descarga al canal de evacuación CCW, el flujo pasa por un monitor de radiación. Si la radioactividad excede un punto preestablecido (por ejemplo 7,770 Bq/l para Cernavoda 2) el bombeo es detenido y el agua usada es circulada a través de la instalación de descontaminación. Aquí la radioactividad es removida por una combinación de filtros cartuchos y resinas de iones intercambiables.

Los datos del CNSC [30] están disponibles para dos unidades de CANDU 6 – Point Lepreau y Gentilly 2. Los datos cubren el periodo desde 1994 a 2003 y aquellos dados en la Tabla 33 siguiente son promedios anuales sobre este periodo.

Tabla 33 Promedio anual de descargas de líquidos radioactivos

Radionuclído	Point Lepreau	Gentilly 2
Oxido de Tritio (TBq)	2.07×10^{2}	2.84×10^{2}
beta-gamma bruta (TBq)	3.6×10^{-3}	7.2×10^{-3}
Carbón-14 (TBq)	4.1×10^{-3}	19.2×10^{-3}

11.5.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

El desecho radioactivo gaseoso es capturado por diferentes sistemas de ventilación y, si se requiere, ruteado a través de una selección de pre-filtro, un filtro HEPA o un filtro de carbón vegetal previo a liberarlo a través de la chimenea de salida de la planta. Ya que el agua pesada es un producto caro, los vapores de agua pesada contaminados con tritio u otros radionúclidos son capturados y recuperados usando el sistema de recuperación de vapor.

Los datos del CNSC [30] están disponibles para dos unidades de CANDU 6 – Point Lepreau y Gentilly 2. Los datos cubren el periodo desde 1994 a 2003 y aquellos dados en la Tabla 34 siguiente son promedios anuales sobre este periodo.

Tabla 34 Promedio anual de descargas de gases radioactivos

Radionuclído	Point Lepreau	Gentilly 2
Oxido de Tritio (TBq)	2.0×10^2	2.0×10^2
Carbón-14 (TBq)	0.22	0.81

11.5.4.3 Desechos radioactivos sólidos

Durante la vida de la planta se producen desechos radioactivos sólidos, y estos pueden ser segregados en compactables o no compactables, resinas usadas de intercambio de iones y filtros usados. El tratamiento del desecho es realizado en el Edificio de Servicio y los desechos compactables son compactados al presionarlos directamente en los tambores usando una Prensa Hidráulica. Después de embalarlo en tambores de acero inoxidable, el desecho es ubicado en el Solid Radioactive Waste Interim Storage Facility (SRWISF).

Tabla 35 Promedio de desechos radioactivos sólidos en la salida de una unidad CANDU 6

Categoría del desecho	Volumen (m^3/a)	Actividad (TBq/a)
Combustible usado	110 arreglos/semana	
Resina usada	7	15.5
Desecho compactable de bajo nivel	22	0.015
Desecho no compactable de bajo nivel	13	0.020
Filtros disponibles	2	1.85
Otros desechos	1.5	<0.3

Fuente OIEA [31] y WM'02 [29]

11.6 VVER-1000

11.6.1 Isla Nuclear

'VVER' es el Pressurised Water Reactor (PWR) (Reactor de Agua Presurizada) de diseño ruso. La designación 'VVER-1000' indica que produce 1000 MWe. Existen aproximadamente 30 de tales unidades en operación en 5 países alrededor del mundo – Rusia, Ucrania, República Checa, Bulgaria y China. Hay otras unidades en construcción o casi completas en Rusia, Ucrania, Bulgaria, Irán e India.

El VVER-1000 fue promocionado como un diseño evolucionario que estaba basado e incorporaba mejoras de seguridad sobre las anteriores plantas VVER-440 tipo V-213.

La construcción comenzó en dos prototipos y una temprana serie de VVER-1000 en los 70's (los tipos V-187, V302 y V-338) seguido por 20 unidades de la serie principal V-320 en los 80's. La construcción entonces comenzó en un nuevo diseño mejorado de VVER-1000 para China (V-428) e India (V-412) en el comienzo de los años 2000's. El diseño más reciente es el tipo V-466. Excepto donde se establece específicamente, la descripción en este documento se relaciona al tipo V-320.

Los componentes principales del circuito primario del VVER-1000 son:

- El núcleo del reactor – que constituye la fuente de calor.
- La nave de presión del reactor (y las estructuras internas asociadas y el montaje principal de la nave) – que encierra el núcleo del reactor y contiene el refrigerante primario que es calentado por medio de los elementos combustibles en el núcleo. La nave de presión también contiene los grupos de barras de control con sus mecanismos de acción e instrumentación asociados en el núcleo.
- Los cuatro loops primarios y las bombas de enfriamiento asociadas del reactor, que transfieren el calor generado en el núcleo del reactor a los generadores de vapor.
- Cuatro generadores de vapor (de diseño horizontal, distintos a aquellos usados en plantas nucleares occidentales), que constituyen la frontera entre los circuitos primarios y secundarios y permiten la transferencia de calor a través de la esa frontera al circuito secundario.
- Un presurizador, que mantiene la presión dentro del circuito primario en el valor requerido para el modo de operación del reactor.

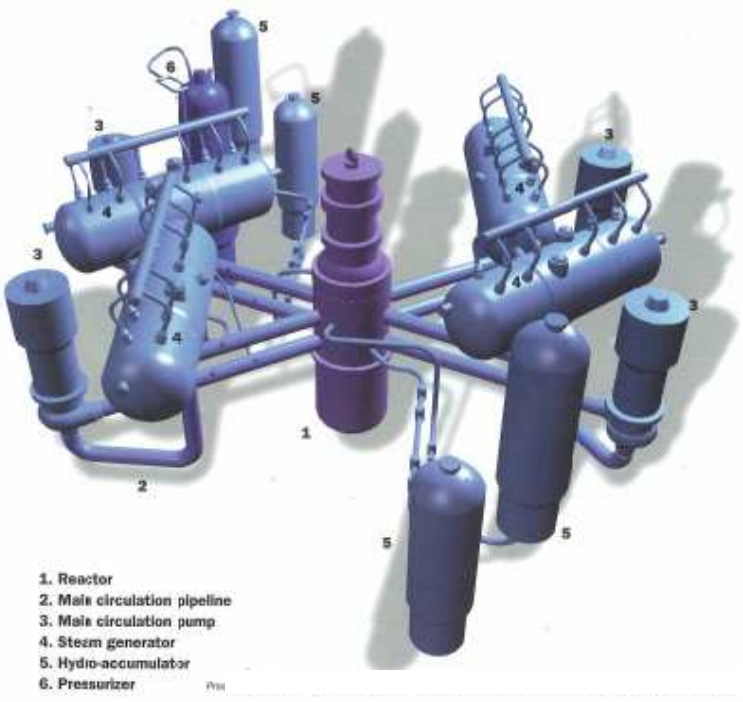


Figura 25 Diagrama del circuito primario de VVER 1000
Fuente: Temelín Centre for Public Relations, ČEZ

El circuito primario está ubicado dentro del edificio del reactor. El edificio típicamente comprende una estructura de contención de concreto cilíndrico de gran volumen, pre-armado, con recubrimiento de acero que está diseñado para retener radioactividad en el evento de una ruptura de la frontera de presión del circuito primario. El diámetro interno de la parte cilíndrica es de 45 m y el espesor de pared es de 1.2 m [32].

La estructura de contención está diseñada para contener la presión interna que surge del accidente postulado como el peor caso y una onda de shock que resulta de una explosión externa, choque de avión (avión de 20t impactando a una velocidad de 720 Km/h) o gran terremoto con una frecuencia de retorno de 10^{-4} por año.

Todas las cañerías y cables eléctricos que se requieren para conectar a los componentes dentro del edificio del reactor están ruteados a través de penetraciones herméticas diseñadas para ese propósito que aseguran la integridad de la estructura de contención.

En diseños posteriores, como medidas adicionales se incorporó una estructura de contención de doble muro con un espacio entre ellos y un aparato de localización de

expansión del núcleo (este último localizado en la parte inferior de la nave de presión del reactor).

El núcleo del reactor del tipo V-320 contiene 163 arreglos de combustible y 61 grupos de barras de control colocadas en una parrilla hexagonal. La altura del núcleo es de 3.6 m y su diámetro es de 3.1 m. Cada arreglo de combustible tiene un largo de 4.5 m y consiste en 312 barras de combustible, 18 tubos guías y un tubo central de medición.

Los arreglos de combustible están ubicados en posiciones predeterminadas dentro del núcleo del reactor. El combustible comprende uranio-235 levemente enriquecido, aunque la extensión de enriquecimiento podría variar entre diferentes plantas.

11.6.2 Características de Seguridad de Ingeniería y Control

El control de la potencia del reactor y la detención de la reacción en cadena de la fisión se lleva a cabo por dos sistemas basados en diferentes principios:

- La introducción de absorbedores sólidos en la forma de arreglos de barras de control.
- La inyección de un absorbedor líquido en la forma de boro soluble.

Las barras de control son usadas para controlar la reactividad durante maniobras operacionales planificadas y para parar el reactor en situaciones normales y de emergencia. La concentración de boro es ajustada para generar cambios lentos en reactividad tal como lo requiera cada ciclo de combustible que ocurre al consumir el combustible.

Cuando el reactor está en la potencia de diseño, todas las barras son completamente sacadas del núcleo excepto para el grupo de ‘control’. El grupo de ‘control’ está típicamente insertado en la parte superior del núcleo por 10-30% y esto es suficiente para compensar pequeños cambios en reactividad debido a cualquier cambio pequeño en la temperatura, la concentración de boro o la carga eléctrica.

Varios parámetros importantes de la planta son monitoreados y proporcionan entradas al sistema de protección del reactor o a las interfases operacionales en las salas de control. La sala principal de control está ubicada en la parte inferior del edificio protector que envuelve el edificio cilíndrico del reactor en las unidades VVER -1000 tipo V-320. También se ubica una sala de control (emergencia) separada de apoyo en una ubicación diferente y segregada dentro de la planta.

El diseño VVER-1000 tipo V-320 incorpora un sistema de protección 'preventivo' y uno de 'emergencia'. Según los parámetros de protección monitoreados que exceden los límites predeterminados, el sistema de protección preventivo actuaría para prohibir cualquier aumento de potencia o reducir la potencia dentro de los márgenes de seguridad, si es aplicable; y el sistema de protección de emergencia actuaría para lograr al apagado del reactor. Dependiendo del escenario, el enfriamiento de emergencia del núcleo también puede iniciarse, incluyendo características pasivas y activas.

El enfriamiento pasivo de emergencia del núcleo comprende cuatro hidro-acumuladores que pueden rápidamente inundar el núcleo del reactor en el evento de un quiebre y su correspondiente pérdida de presión en el circuito primario. El enfriamiento activo de emergencia del núcleo comprende tres guías independientes del 100% de capacidad de inyección a alta presión, enfriador del núcleo a alta presión, enfriador del núcleo a baja presión y rocío de contención. Cada guía activa del enfriador de núcleo de emergencia está adicionalmente apoyada por un generador diesel de emergencia on-site y una guía de agua de servicio esencial.

Los cuatro hidro-acumuladores están ubicados dentro de la estructura de contención. Los mayores componentes de los sistemas de enfriamiento activo de emergencia del núcleo están ubicados en un área cerca de la estructura de contención. Los generadores de emergencia diesel están ubicados en un edificio externo separado.

11.6.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

El diseño VVER-1000 tipo V-320 incluye una Piscina de Almacenamiento de Combustible Usado adyacente al reactor dentro de la estructura de contención. El combustible usado es típicamente almacenado en la piscina de almacenaje de combustible usado por 3 a 5 años hasta que el calor residual se haya reducido y entonces, dependiendo de la empresa, es transferido al almacenaje intermedio de combustible usado o enviado para reprocesamiento.

Si es necesario, la Piscina de Almacenaje de Combustible Usado adyacente al reactor tiene la capacidad de almacenar combustible usado por 12 años, aunque esto podría variar dependiendo del ciclo de combustible adoptado.

Temelín opera un ciclo de combustible de cuatro batchs de modo que se descargan cada año sólo 41 – 42 arreglos de combustible. La capacidad de sus Piscinas de Combustible Usado es 680 posiciones para el combustible usado y 25 posiciones (para contenedores herméticos) para combustible que ha fallado, proporcionando más de 10 años de operación para la capacidad de almacenaje [33].

Tanto las instalaciones de almacenamiento de combustible usado intermedio 'húmedas' y 'secas' son usadas por diferentes empresas, y la situación para las empresas con unidades VVER-1000 es similar en este respecto a aquellas empresas con otros tipos de Reactor de Agua Presurizada.

Las dos opciones disponibles posteriores al almacenamiento en un almacén intermedio son reprocesamiento o disposición final. Muchas empresas actualmente han aplazado la decisión de cuál opción adoptar.

11.6.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos

11.6.4.1 Desechos radioactivos líquidos

El desecho radioactivo líquido puede ser generado en la forma de soluciones de agua, suspensiones, concentrados, fangos y aceites. La mayoría de los desechos radioactivos líquidos surgen de los procesos asociados con los circuitos del reactor dentro de la planta.

El desecho radioactivo es generalmente almacenado en estanques diseñados con el principio 'estanque dentro de un estanque' para prevenir cualquier contaminación del suelo que surja de una pérdida del estanque interior.

El desecho radioactivo líquido puede ser refinado / concentrado por varios métodos incluyendo centrifugación, evaporación e intercambio de iones.

Una vez concentrado, el desecho radioactivo líquido es típicamente encapsulado de alguna manera. Los métodos usados incluyen un rango de procesos de cementación y bituminización.

Posterior a la 'encapsulación', el desecho radioactivo líquido es almacenado en latas o barriles de concreto, como sea apropiado, y transferido a un depósito de desechos radioactivos.

La mayoría de las empresas tienen tanto los depósitos de desechos radioactivos de nivel bajo como los de nivel medio.

Temelín (una planta con dos unidades) está proyectada para producir 900 barriles de desechos de matriz bitumenizada tambores de 200 litros por año. Para las descarga al

medio ambiente Temelín libera 40 KBq/año de tritio y 1 GBq/año de otros radionúclidos beta y gama [**33**].

11.6.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

El desecho radioactivo gaseoso surge de los estanques de la planta que contienen agua radioactiva y de varios procesos asociados con el circuito primario.

El material particulado es removido por los filtros y el gas confinado dentro de las cámaras de absorción donde la radioactividad es disminuida bajo el nivel al cual se puede liberar con seguridad en la atmósfera. Esto se hace mediante una chimenea de ventilación en los edificios del reactor o auxiliares.

Los datos para Temelín [33] indican que las emisiones gaseosas son 1,490 TBq/año para gases nobles, 1.86 GB1/año para yodos, 1.0 MBq/año para cesios y 580 Bq/año para el cobalto-60.

11.6.4.3 Desechos radioactivos sólidos

El desecho radioactivo sólido surge de resinas gastadas usadas en el tratamiento de agua radioactiva, filtros del sistema de ventilación y varios consumibles contaminados tales como telas, guantes y ropa. También se produce cuando los aparatos activados o partes son reemplazadas durante la mantención (por ejemplo envoltorio de bombas y sellos, aislación, aparatos metálicos específicos).

La aproximación generalmente adoptada para el tratamiento de desechos radioactivos sólidos involucra algunos grados de clasificación, fragmentación y compactación.

El desecho radioactivo sólido compactado es almacenado en latas o barriles en forma similar a lo que se hace con el desecho radioactivo líquido. Sin embargo, los procesos particulares y los contenedores usados variarán entre las diferentes empresas.

Cualquier desecho radioactivo sólido que tenga una alta actividad (por ejemplo proveniente de aparatos que estaban ubicados en o cerca del reactor) son almacenados típicamente en contenedores en áreas protegidas en la planta hasta que la radioactividad de reduzca lo suficiente para permitir un tratamiento adicional o pueda deshacerse de ellos.

Algunas empresas tienen implementado adicionalmente un proceso de 'super-compactación' donde el desecho es pre-compactado en tambores, se colocan las tapas y entonces los tambores mismos son compactados antes de ser cargados en contenedores de almacenaje.

Los contenedores de almacenaje (latas o barriles) son transferidos a un depósito de desechos radioactivo de la misma forma que se hace con aquellos desechos radioactivos líquidos.

Temelín (una planta con dos unidades) está proyectada para producir 200 m^3 de desecho radioactivo sólido que es colocado en 350 barriles (200 litros por barril después de un bajo nivel de compactación) de desecho radioactivo sólido por año [33].

11.7 Korean AP-1400

11.7.1 Isla Nuclear

El Advanced Power Reactor 1400 (APR1400) es un Reactor de Agua Presurizada evolucionario que ha sido desarrollado por la industria nuclear de Corea del Sur como un proyecto nacional de I+D que se prolonga por diez años. El diseño ha evolucionado desde el sistema US System 80+ con mejoramiento en la seguridad y robustez sísmica y fue conicido primero como el Korean Next-Generation Reactor (el Reactor Coreano de Próxima Generación). La certificación de diseño por el Korean Institute of Nuclear Safety fue obtenida en Mayo del 2003. El primero de estos reactores de 1450 MWe será el Shin-Kori-3 & 4, que se espera sea operado aproximadamente el 2012.

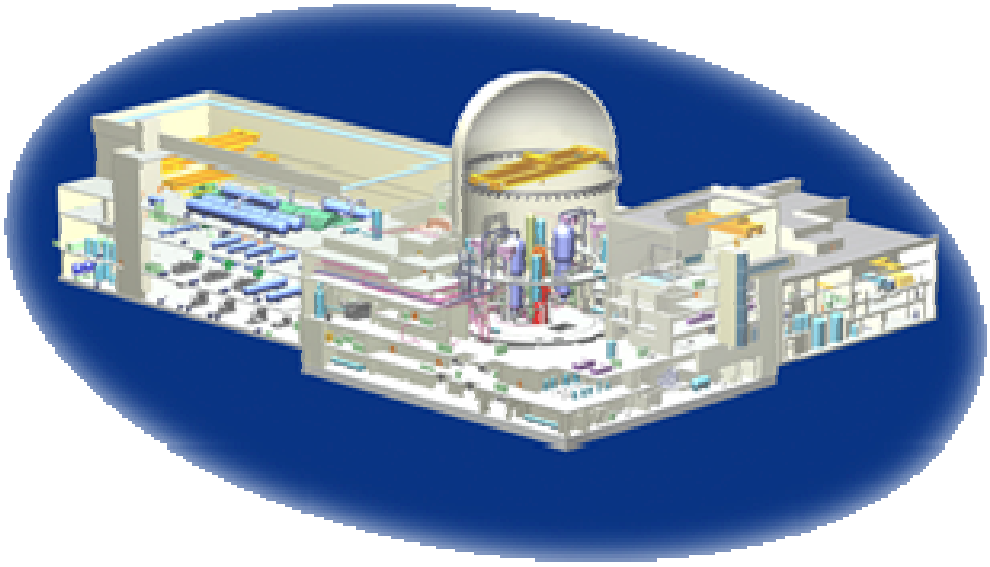


Figura 26 Vista de corte de los edificios del APR1400

El núcleo consiste en 241 arreglos de combustible que serán típicamente cargados en el primero ciclo de combustible con diferentes enriquecimientos de U-235. El combustible incluye un tóxico combustible y es capaz de generar de 60 GWd/t. La salida térmica del núcleo es de 3.983 MWt.

El Sistema de Enfriamiento del Reactor (Reactor Coolant System, RCS) está dispuesto como dos loops cerrados conectados en forma paralela a la nave del reactor. Cada loop consiste en una vía caliente de salida, un generador de vapor, dos cañerías de vía fría, y dos bombas. Se conecta un presurizador eléctricamente calentado a uno de los loops del RCS.

El RCS opera a una presión nominal de 15.5 MPa. El enfriador del reactor entra a la nave del reactor, luego fluye hacia abajo entre la concha de la nave del reactor y la barrera del núcleo, sube al núcleo, deja la nave del reactor, y fluye por el lado del tubo de los dos generadores verticales de vapor U-tube (con un economizador integral) donde el calor es transferido al sistema secundario. Las bombas de enfriamiento del reactor devuelven al enfriador del reactor a la nave del reactor.

La nave del reactor consiste en conchas cilíndricas verticales, con las cabezas hemisféricas abajo y arriba. La nave tiene una superficie forjada y un revestimiento de acero inoxidable, y contiene 4 Boquillas de Entrada, 2 boquillas de salida, y 4 Boquillas de Inyección Directa a la Nave (Direct Vessel Injection, DVI Nozzles).

La estructura interna del reactor de la nave consiste en una estructura guía superior y soporte de barril. La estructura superior integrada es concebida para acortar el periodo de rellenado de combustible, reducir la exposición de radiación ocupacional y simplificar los procedimientos de trabajo.

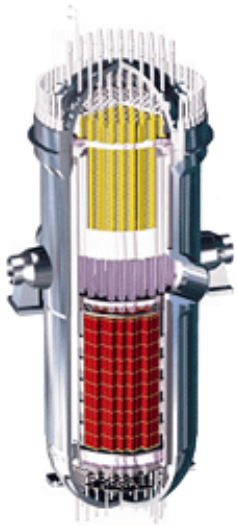


Figura 27 Nave del reactor APR 1400

El edificio de contención es una estructura cilíndrica de concreto pre-armado con un domo hemisférico. La parte cilíndrica de la estructura de contención es pre-armada por un sistema de post-tensión que consiste en aros horizontales (hoop) y verticales (U invertida). La

superficie interior de la concha de contención y el domo están revestidos de acero para pérdida de tensión (leak-tightness).

El edificio de contención encierra completamente al reactor y al RCS y está diseñado para proporcionar una barrera esencialmente de pérdida de tensión contra la liberación de materiales radioactivos subsecuentes a los accidentes postulados. Para encontrar estos requerimientos, se define una tasa máxima de perdida de presión de contención en conjunto con los requerimientos de operación elaborados por el Engineered Safeguards Features (ESF).

11.7.2 Características de seguridad de ingeniería y control

Los montajes de elementos de control consisten en barras absorbedoras de carburo de boro o plata-indio-cadmio y barras absorbedoras de aleación sólida de NiCrFe de capacidad de neutrón reducida, que son guiadas por tubos localizados dentro del montaje del combustible.

Con el diseño APR-1400 se proporcionan muchas características ingenieriles claves de seguridad:

- En el evento de una pérdida de enfriador por accidente, el Sistema de Inyección de Seguridad (Safety Injection System, SIS) inyecta agua boratada dentro del Sistema de Enfriamiento del Reactor. El SIS del APR1400 incorpora una configuración de inyección de seguridad de cuatro guías y un Tanque de Almacenamiento de Agua de Relleno dentro del Contenedor (In-Containment Refueling Water Storage Tank, IRWST).

- El Sistema de Alimentación de Agua Auxiliar (Auxiliary Feedwater System, AF) es proporcionado como un medio independiente de suministro secundario de agua de características adecuadas a los generadores de vapor cuando el Feedwater System (FW) no opera o no está disponible.

- El Sistema del Contenedor de Rociadores (Containment Spray System, CS) está diseñado para mantener la presión de contención y la temperatura dentro de los límites designados en el evento que la base del diseño de masa - energía se libere a la atmósfera de contención. El Sistema CS es completamente redundante con dos sistemas de guías que alimentan dos bombas de rocío en el Contenedor para entregar agua a través de dos intercambiadores de calor en la zona superior del Contenedor.

- El Sistema de Despresurización y Ventilación de Seguridad (Safety Despressurisation and Vent System, SDVS) es un sistema dedicado a la seguridad diseñado para proporcionar un medio de despresurización del RCS en el evento que el spray de presurización no esté disponible, y para despresurizar rápidamente el RCS al inicializar el método de alimentación y sangrado de apagado de la planta subsecuente a una total pérdida de alimentación de agua.

11.7.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

Los nuevos racks de almacenamiento de combustible proveen almacenamiento seco on-site para los nuevos arreglos de combustible y están ubicados en el nuevo foso de almacenamiento de combustible en el área de manejo de combustible.

El ciclo de combustible APR1400 está diseñado para resultar en la descarga de aproximada de 100 arreglos de combustible por 18 meses. El almacenaje on-site para los arreglos de combustible usado se proporciona por los racks de almacenaje de combustible gastado que están ubicados en la Piscina de Combustible Gastado (SFP) en el área de manejo de combustible. Los racks de almacenaje de combustible gastado se construyen típicamente de celdas de almacenamiento cada una con material tóxico para el almacenamiento de alta densidad. Los racks mantienen un factor de multiplicación efectivo de neutrones menor que los límites críticamente requeridos durante la operación normal y en condiciones de diseño de accidentes postulados. Esto es logrado por el uso del espacio adecuado y el material de absorción de neutrones.

11.7.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos

11.7.4.1 Desechos radioactivos líquidos

El Sistema de Gestión de Desechos Líquidos (Liquid Waste Management System, LWMS) proporciona un medio para capturar, almacenar, procesar, sacar muestras y monitorear el desecho líquido radioactivo. El LWMS consiste en estanques colectores, filtro de proceso, embalajes ALTS, bombas y naves de procesos, estanques monitores, e instrumentos y controles apropiados para permitir que la mayoría de las operaciones sean conducidas remotamente. El equipo de proceso y la conexión para el equipo móvil están ubicados de

modo tal que tienen acceso a grúa o monorriel elevado para facilitar la reparación, el reemplazo o la reconfiguración. .

Los desechos radioactivos son segregados por ruteo a un pozo o estanque inicial de captura. Esto lleva a permitir procesamiento más efectivo de cada tipo de desecho y guía a los volúmenes reducidos de desechos sólidos. La segregación se lleva a cabo por medio de un subsistema que procesa las diferentes categorías de desechos.

No hay datos disponibles sobre las descargas de desechos líquidos al medio ambiente.

11.7.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

El Sistema de Gestión de Desechos Gaseosos (Gaseous Waste Management System, GWMS) está diseñado para evitar las descargas accidentales de actividad gaseosa que resultarían en exposiciones off-site excediendo los límites aceptables. Las corrientes de desechos gaseosos son procesadas a través de las camas de dilación de carbón vegetal para el decaimiento y retención de los gases de fisión radioactivos previamente a su emisión.

El GWMS consiste en un estanque de desagüe principal, dos secadores de gas de desechos, dos camas de contención de carbón vegetal, cuatro camas de dilación de carbón vegetal, un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) y cañerías incluyendo las válvulas e instrumentación asociadas. El GWMS usa carbón vegetal a temperatura ambiente para retrasar el paso de gases radioactivos a través del sistema. Cuando se opera en condiciones de diseño la masa del carbón vegetal proporciona en las camas de absorción una mantención mínima de 45 días de retraso para el xenón y a un mínimo de 3.5 días de retraso para el criptón. El secador de ges de desecho está diseñado bajo la condición de proceso de los gases para proporcionar la humedad y la temperatura necesaria para la eficacia deseada de las camas de dilación del carbón vegetal.

No existen datos sobre las descargas de desechos gaseosos en el medio ambiente.

11.7.4.3 Desechos radioactivos sólidos

El Sistema de Gestión de Desechos Sólidos (Solid Waste Management System, SWMS) proporciona el medio por el cual la resina utilizada, los filtros y otros del LWMS y de los sistemas de disminución primarios son procesados, además de los desechos de la

manipulación para el embarque de desechos secos de baja actividad a una instalación disponible licenciada o autorizada.

El SWMS está subdividido en los siguientes subsistemas:

- Sistema de almacenamiento y transferencia de resina gastada
- Sistema de manipulación de filtros
- Sistema de segregación y clasificación de desecho activo seco
- Sistema de secado de resina gastada (SRDS)

No existen datos disponibles en la predicción de aumentos de desechos sólidos.

11.8 MHI APWR

11.8.1 Isla Nuclear

El Mitsubishi APWR es un reactor de Generation III Advanced Pressurised Water Reactor desarrollado por Mitsubishi Heavy Industries (MHI) basado en tecnología de Reactor de Agua Presurizada. Muestra varias ampliaciones de diseño incluyendo un reflector de neutrones, eficiencia mejorada y sistemas de seguridad mejorados. Posee características de seguridad avanzadas de última generación, incluyendo una combinación de sistemas pasivos y activos. El APWR ha sido registrado para el proceso de licencia en Japón y será construido en Tsuruga. Esta planta generará 1538 MWe.

El US-APWR fue desarrollado por el MHI para modificar su diseño APWR para cumplir con las regulaciones de Estados Unidos. TXU ha seleccionado el US-APWR para el uso en múltiples lugares, incluyendo el Comanche Peak Nuclear Generating Station. Esta perspectiva general está basada en la variante de diseño del US-APWR, debido a la disponibilidad de la documentación de dominio público enviada a US Nuclear Regulatory Coomission (USNRC) para la certificación de diseño.

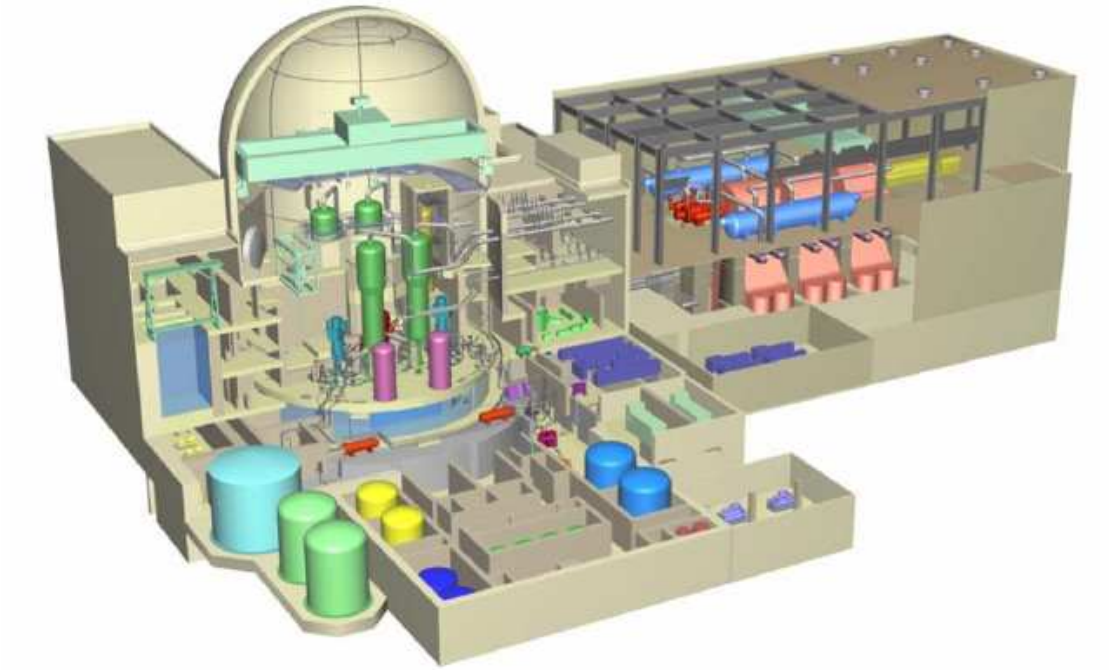


Figura 28 Vista en corte del edificio de APWR

Las características de diseño más evolutivas del APWR, de acuerdo a MHI, son:

- Un sistema de seguridad de cuatro-guías para la redundancia de mejoras.
- Un acumulador avanzado.
- Un foso de almacenaje de rellenado de combustible en el contenedor.
- Un generador de vapor de alta resistencia a la corrosión.
- Un reflector de neutrones con mejoras internas.
- Una reducción de 90% de las paradas de planta comparado con otras PWR's de cuatro-loops.
- Un núcleo mayor con una eficiencia térmica de 39%.
- El volumen del edificio por MWe que es cuatro quintos que de otras PWR's de cuatro-loops.
- Una reducción de 28% en los arreglos de combustible usado por MWh comparado con otras PWR's de cuatro-loops.
- Exposición de radiación ocupacional reducida.
- Capacidad para usar combustibles de óxido mixto (MOX) producidos desde el procesamiento de combustible nuclear usado.

La nave del reactor APWR (RV) contiene los arreglos de combustible y el núcleo interno de la nave del reactor, incluyendo las estructuras de apoyo del núcleo, barras de control, reflector de neutrones, y otras estructuras asociadas con el núcleo.

El RV consiste en cuatro boquillas de entrada, cuatro boquillas de salida, y cuatro boquillas de inyección directa a la nave, que están ubicadas entre la parte superior de la nave del reactor y la parte superior del núcleo; se ha indicado que es capaz de mantener el enfriador en la nave del reactor en el caso de pérdida en el loop del enfriador del reactor. El enfriador del reactor ingresa a la nave a través de las boquillas de entrada, fluye hacia abajo el anillo entre el barril del núcleo y la pared RV, gira hacia la parte inferior de la nave, y fluye hacia arriba a través del núcleo hacia las boquillas de salida.

La cabeza de cierre del RV consiste en un domo hemisférico y una base de cabeza de cierre. La cabeza de cierre del RV está equipada con mecanismos de manejo de barras de control en la instrumentación en el núcleo, termocuplas y boquillas del sistema de instrumentación del nivel de la nave del reactor. La parte inferior del domo no tiene ninguna penetración.

El núcleo del US-APWR consiste de 257 arreglos de combustible rodeados por un reflector de neutrones de acero inoxidable produciendo una potencia térmica en el núcleo de 4450 MWth y una salida eléctrica bruta de 1530 MWe. El largo del combustible activo es de 4.27 m.

El US-APWR puede operar con un ciclo de combustible de 24 meses, de 2-batch, con un punto máximo de quemado de 62,000 MWd/tU, usando combustible enriquecido de menos de 5 w/o uranio-235. El reactor es diseñado para acomodar una carga de MOX mayor a un tercio del núcleo.

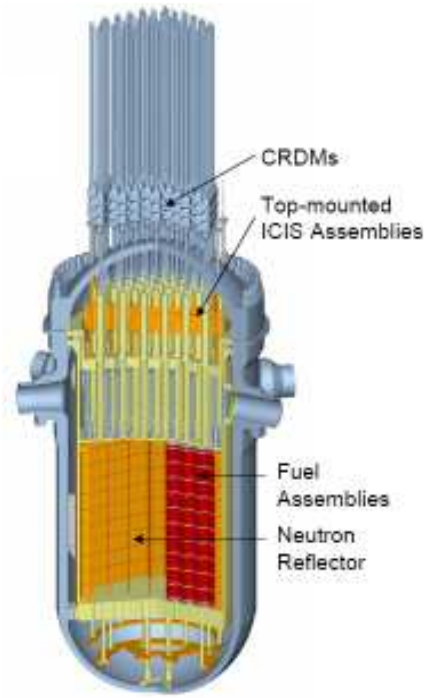


Figura 29 Nave de presión del reactor (RV)

MHI ha desarrollado un diseño de generador de vapor de gran capacidad (70F-1 Model) para las plantas APWR. Especificaciones térmicamente tratadas con aleación 690 de Iconel se han desarrollado y adoptado para los tubos del generador de vapor con el objeto de mejorar su resistencia a la tensión de ruptura por corrosión. La confiabilidad de este material ha sido verificada a través del testeo en varios medio ambientes corrosivos.

La nave de contención APWR consiste en una estructura de concreto pre-armada y post tensionada con un muro cilíndrico, domo hemisférico, y una losa de fundación de concreto reforzado plano. La superficie interna de la estructura está revestida con acero al carbono. El reactor APWR y el sistema de enfriamiento del reactor (RCS) están completamente encerrados en la nave de contención de concreto prearmado (PCCV). El PCCV está diseñado para asegurar ninguna pérdida de material radioactivo al medio ambiente, en el evento de una falla mayor del sistema de enfriamiento del reactor.

11.8.2 Características de seguridad de ingeniería y control

Para mitigar el riesgo de pérdida del enfriador primario causado por la falla en el límete de presión del enfriador del reactor, las Características de Seguridad de Ingeniería incluyen un Sistema de Enfriamiento del Núcleo de Emergencia (Emergency Core Cooling System - ECCS) para enfriar el núcleo con una solución de ácido bórico inyectada en el núcleo con múltiples guías para proporcionar garantía de redundancia e independencia. Además, el diseño del sistema de seguridad está concevido para asegurar un suministro de electricidad del generador de emergencia, asegurando redundancia, de modo tal que sus funciones pueden ser mantenidas en el evento de un apagón en la estación.

Para mejorar la fiabilidad del sistema de enfriamiento del núcleo de emergencia el US-APWR incluye varias mejoras tales como redundancia e independencia mejoradas, una configuración de sistema simplificado (uso de un estanque acumulador avanzado), un suministro de energía de emergencia optimizada, y la eliminación de la operación de intercambio de la fuente de agua de emergencia. Para el sistema de enfriamiento del núcleo de emergencia, que consiste en tres tipos de sub-sistemas de diseños convencionales, la inyección del acumulador, los sistemas de inyección de cabezal alto y de inyección de cabezal bajo, el US-APWR ha integrado el rol del sistema de inyección de cabezal bajo con el del sistema de inyección del acumulador.

El propósito primario del ECCS es remover el calor de decaimiento del producto almacenado y de fisión del núcleo del reactor producto de un accidente. En combinación con la inserción de barras de control, el ECCS está diseñado para cerrar y enfriar durante los siguientes accidentes:

- Accidentes por Pérdida de Enfriador (LOCA's)
- Eyección de un montaje del grupo de barras de control
- Falla en las cañerías del sistema secundario de vapor
- Operación en advertencia de válvula principal de seguridad o de alivio de vapor
- Falla en el tubo generador de vapor

El ECCS incluye cuatro divisiones de bombas de inyección de seguridad de 50% de capacidad, asumiendo que una esté fuera de servicio por mantención y una no esté operativa debido a una falla simple al iniciar el ECCS. Las funciones de este sistema están para asegurar que (1) la temperatura del revestimiento del combustible, los límites de producción de oxígeno u de oxidación no se excedan, (2) geometría enfriable del núcleo ("coolable") se mantenga, y (3) enfriador de núcleo de largo plazo que esté disponible.

11.8.3 Instalaciones para el almacenaje del combustible irradiado

Las nuevas instalaciones de almacenamiento de combustible están ubicadas en el área de manipulación de combustible en el edificio del reactor y cosisten en un foso de almacenaje de combustible nuevo de concreto reforzado no recubierto, seco de aproximadamente 6 m de profundidad. Los nuevos racks de almacenamiento de combustible sirven para almacenar 180 arreglos de combustible.

Las instalaciones de almacenamiento de combustible usado están ubicadas en el área de manipulación de combustible del edificio del reactor. Las instalaciones de almacenamiento de combustible usado consisten en Spent Fuel Pool (SFP) que es de aproximadamente 16 m de profundidad con muros y suelo de concreto reforzado, recubierto con placas de acero inoxidable. El SFP es llenado con agua que tiene una concentración de boro de aproximadamente 4,000 ppm. Los racks de almacenamiento de combustible usado son proporcionados para tener una capacidad de recibir sobre 900 arreglos de combustible.

En ambas instalaciones, el espacio centro-a-centro entre los arreglos adyacentes de combustible está diseñado para evitar la criticidad proporcionando espacio geométricamente seguro para reducir las interacciones de neutrones.

11.8.4 Sistemas para el tratamiento de desechos radioactivos

11.8.4.1 Desechos radioactivos líquidos

El Sistema de Gestión de Desechos Líquidos (Liquid Waste Management System, LWMS) está diseñado para monitorear, controlar, capturar, procesar, manipular, almacenar y disponer en forma segura el desecho líquido radioactivo generado como resultado de la operación normal, incluyendo las ocurrencias operacionales anticipadas. El LWMS tiene diferentes subsistemas de modo que los desechos líquidos de varias fuentes pueden ser segregados y procesados en forma separada de acuerdo al tipo de desecho. Los sistemas están interconectados con el objeto de proporcionar flexibilidad al procesamiento de los desechos y para proporcionar redundancia.

El LWMS incluye lo siguiente:

- El subsistema de procesamiento de desagüe de equipos y pisos

- El subsistema de desagüe de detergente
- El subsistema de desagüe químico
- El subsistema de desagüe de enfriamiento del reactor

El sistema proporciona la capacidad de segregar, capturar y tratar el desecho líquido para emisiones aceptables o según especificaciones de reciclado para el uso en la planta. El LWMS también proporciona la capacidad de almacenar, sacar muestras y analizar los líquidos tratados para el control y disposición de estos en forma segura. Los estanques, bombas y otros usados para almacenar y procesar material radioactivo son protegidos de acuerdo con sus inventarios esperados. Después de que el desecho ha sido procesado, es almacenado temporalmente en estanques de monitoreo para el muestreo previo al reciclaje o descarga. Las conexiones se proporcionan para permitir la transferencia del desecho líquido a sistemas móviles o equipos temporales.

No existen datos sobre las descargas de desecho líquido al medio ambiente.

11.8.4.2 Desechos radioactivos gaseosos

El Sistema de Gestión de Desechos Gaseosos (Gaseous Waste Management System, GWMS) está diseñado para monitorear, controlar, capturar, procesar, manipular, almacenar y disponer el desecho radioactivo gaseoso generado por el resultado de operación normal, incluyendo ocurrencias de operación anticipadas. El GWMS incluye Gas Surge Tanks para proveer almacenamiento temporal del gas radioactivo para la descomposición de isótopos de vida corta que contribuyen a la mayoría de la radioactividad y las cámaras de dilación de carbón vegetal para la descomposición de gases radioactivos previos a la emisión de éstos al medio ambiente.

MHI indica que el GWMS está diseñado para proporcionar suficiente capacidad y flexibilidad para capturar y procesar los gases radioactivos provenientes del proceso para ser emitidos. Las corrientes en el GWMS son monitoreadas para el contenido de hidrógeno y el de oxígeno para prevenir una mezcla inflamable. Los lechos de carbón vegetal proporcionan tiempo de demora y de descomposición antes de que los gases sean emitidos al medio ambiente. El nivel de radiación en los gases tratados es verificado con monitores de radiación previo a la emisión al medio ambiente. Estos monitores de radiación envían una señal para cerrar las válvulas de descarga GWMS si la detección de los niveles de radiación supera un punto predeterminado.

No existen datos disponibles sobre las descargas de desechos gaseosos al medio ambiente.

11.8.4.3 Desechos radioactivos sólidos

El Sistema de Gestión de Desechos Sólidos (Solid Waste Management System, SWMS) está diseñado para proporcionar recolección, procesamiento, embalaje, y almacenaje de desechos radioactivos producidos durante la operación normal y anticipada de ocurrencias operacionales incluyendo la partida, el cierre y las operaciones de rellenado de combustible.

El SWMS consiste en muchos subsistemas, cada uno está diseñado para manipular diferentes tipos de desechos como sigue: resina usada y carbón usado, filtros usados, lodo, y desechos de aceite, y desechos activos secos incluyendo ropa contaminada, herramientas contaminadas y/o quebradas y materiales de mantención.

La manipulación de resinas usadas y carbón usado y el subsistema de dewatering consisten en estanques de almacenamiento de resina usada y una estación modular de dewatering con una consola de control, un fillhead, y una bomba de dewatering. Los elementos de filtros usados son manipulados con equipos de manipulación remotos para minimizar la exposición del trabajador. Los desechos de lodo y aceite son capturados en pozos diseñados especialmente y son bombeados a contenedores de embarque para su tratamiento off-site y/o su disposición. Los desechos radioactivos secos son capturdos separadamente en el punto de generación y están embalados para su disposición en forma separada. El área de almacenaje de desechos on-site está equipada con una grúa elevada y un carro interior para cargar desecho embalado para el transporte off-site y su disposición.

No existen datos disponibles sobre el aumento de desecho sólido.

ANEXO B

TRATADOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR CHILE

12. ANEXO B: TRATADOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR CHILE

Nombre del Tratado	N° de la Norma	Ratificación	Publicación	Carácter	Reserva	Enmiendas	Contenido Relevante	Ciclo del Combustible
Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica	Decreto Nº 544	9/24/1960	10/20/1960	Multilateral	No	Si	Fomento y la facilitación en el mundo entero de la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica de la energía atómica con fines pacíficos. Establece la organización, funciones y atribuciones del OIEA.	Art.III A (5) Faculta al OIEA para establecer y aplicar Salvaguardias. Art.XI Asistencia para el suministro de Materiales.
Tratado que Prohíbe las Pruebas de Armas Nucleares en la Atmósfera, en el Espacio Exterior y en el Mar	Decreto Nº 555	8/5/1963	8/7/1965	Multilateral	No	No	Prohibición de realizar explosiones de armas nucleares, con excepción de aquellas subterráneas.	No
Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por daños Nucleares	Decreto Nº 18	11/23/1989	3/8/1990	Multilateral	Si	Si	Reconocimiento del derecho a utilizar la energía nuclear para fines pacíficos. Régimen de responsabilidad en caso de accidentes nucleares.	No
Protocolo Común Relativo a la aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de París, sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares	Decreto N° 1212	11/29/1989	3/3/1994	Multilateral	No	No	Establece una mutua extensión de la responsabilidad del explotador bajo la Convención de Viena y Paris.	No

Nombre del Tratado	N° de la Norma	Ratificación	Publicación	Carácter	Reserva	Enmiendas	Contenido Relevante	Ciclo del Combustible
Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina (Tratado de Tlatelolco)	Decreto Nº 132	1/18/1994	4/26/1994	Multilateral	No	No	Organización, funciones y atribuciones del OPANAL, establecimiento de Zona Militarmente desnuclearizada, reconoce el uso pacífico de la EN.	Art.12 Sistema de Control, Art.13 aplicación de Salvaguardias.
Convención sobre protección física de los materiales nucleares	Decreto Nº 1121	4/27/1994	10/17/1994	Multilateral	No	Si	Principalmente materiales nucleares objeto de transporte internacional, tipificación de delitos, extradición.	Art.III y IV Seguridad física en transporte internacional de material nuclear.
Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP)	Decreto N° 797	5/25/1995	9/25/1995	Multilateral	No	No	Reconocimiento del derecho a utilizar la EN para fines pacíficos, promueve la cooperación y el intercambio tecnológico en el ámbito nuclear. Diferencia entre EPAN y ENPAN.	Art.III Aplicación de Salvaguardias. Art.IV Derecho a utilizar la EN con fines pacíficos.
Convención sobre seguridad nuclear	Decreto Nº 272	12/20/1996	3/3/1997	Multilateral	No	No	Obligaciones para los Estados parte en relación a las normas de seguridad tecnológica.	No
Convención sobre Prerrogativas e Inmunidades del OPANAL	Decreto Nº 1063	6/17/1997	9/27/1997	Multilateral	No	No	Establece las prerrogativas e inmunidades que gozará el OPANAL conforme al art. 22 del Tratado de Tlatelolco.	No
Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica	Decreto Nº 8	9/22/2004	4/12/2005	Multilateral	No	No	Establece y precisa los mecanismos de asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica.	No
Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares	Decreto Nº 381	11/15/2005	4/25/2006	Multilateral	No	No	Establece y precisa los sistemas de notificación en caso de accidente nuclear.	No

Nombre del Tratado	N° de la Norma	Ratificación	Publicación	Carácter	Reserva	Enmiendas	Contenido Relevante	Ciclo del Combustible
Acuerdo de cooperación para la promoción de la ciencia y la tecnología nucleares en América Latina y El Caribe (ARCAL).	Decreto Nº 5	11/15/2005	4/25/2006	Multilateral	No	No	Mutua cooperación para contribuir a promover la ciencia y tecnología nucleares con fines pacíficos, aprovechar de manera eficaz y eficiente las capacidades disponibles de los Estados, organización, funciones y atribuciones del ORA.	No
Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBT)		7/12/2000	No esta vigente aún	Multilateral	No	No	Prohibición de realizar explosiones de ensayo de armas nucleares, mecanismos eficaces de verificación. Funciones y atribuciones de la Organización encargada de la aplicación del CTBT	
Acuerdo sobre Privilegios e Inmunidades del Organismo Internacional de Energía Atómica	Decreto Nº 164	12/8/1987	4/22/1988	Bilateral	Si	No	Establece los privilegios e inmunidades que gozará el OIEA en Chile.	No
Acuerdo entre el Gobierno de Chile y el OIEA para la Aplicación de Salvaguardias en Relación con el Tratado de Tlatelolco	Decreto Nº 539		7/19/1995	Bilateral	No	No	Salvaguardias sobre todos los materiales nucleares para verificar que no se desvíen hacia armas nucleares, principalmente por medio de un sistema de contabilidad de los materiales nucleares.	Si
Protocolo Adicional al Acuerdo con el OIEA para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado de Tlatelolco	Decreto N° 17		3/20/2004	Bilateral	No	No	Fortalece el sistema de Salvaguardias, ampliando e acceso del OIEA a la información relevante, y el acceso físico, incluido materiales nucleares no declarados.	Si

Nombre del Tratado	N° de la Norma	Ratificación	Publicación	Carácter	Reserva	Enmiendas	Contenido Relevante	Ciclo del Combustible
Acuerdo de Cooperación en los Usos Pacíficos de la Energía Atómica, con Gran Bretaña e Irlanda de Norte	Decreto Nº 681	10/22/1969	12/29/1969	Bilateral	No	No	Acuerdo de Cooperación	
Acuerdo de cooperación sobre usos pacíficos de la energía nuclear, entre los Gobiernos de las Repúblicas de Chile y Paraguay	Decreto N°561	9/20/1977	9/21/1977	Bilateral	No	No	Acuerdo de Cooperación y asistencia en la aplicación de la EN con fines pacíficos, suscrito de acuerdo a los establecido en el Convenio Básico de Cooperación Económica, Científica y Tecnológica, para el desarrollo económico social.	Art.7 Venta y suministro de materiales nucleares sujeto a las disposiciones legales de cada Estado y los TI vigentes
Acuerdo de cooperación sobre usos pacíficos de la energía nuclear, entre la República de Chile y la República Oriental de Uruguay	Decreto Nº 925	02-10-19080	11/27/1980	Bilateral	No	No	Acuerdo de Cooperación y asistencia en la aplicación de la EN con fines pacíficos, suscrito en conformidad con establecido en el Acuerdo de Cooperación Económica, Científica y Tecnológica, para el desarrollo económico y social.	Art.7 Venta y suministro de materiales nucleares sujeto a las disposiciones legales de cada Estado y los TI vigentes
Convenio de cooperación sobre usos pacíficos de la energía nuclear, entre los Gobiernos de Chile y Argentina	Decreto Nº 679	9/1/1983	11/26/1983	Bilateral	No	No	Acuerdo de Cooperación en el campo de la investigación nuclear y de sus aplicaciones para fines pacíficos, suscrito de acuerdo con lo establecido en el Artículo I del Convenio de Cooperación Científica y Tecnológica	Art. 8 Venta y suministro de materiales nucleares sujeto a las disposiciones legales de cada Estado y los TI vigentes

Nombre del Tratado	N° de la Norma	Ratificación	Publicación	Carácter	Reserva	Enmiendas	Contenido Relevante	Ciclo del Combustible
Acuerdo de intercambio de información sobre energía nuclear con fines pacíficos entre los Gobiernos de las Repúblicas de Chile y Colombia	Decreto Nº 82		3/16/1984	Bilateral	No	No	Acuerdo sobre intercambio de informaciones en materia de EN, comprendido dentro de las disposiciones del Convenio Básico de Cooperación Técnica y Científica.	No
Acuerdo de cooperación para usos pacíficos en energía nuclear, entre los Gobiernos de la Repúblicas de Chile y la de Guatemala	Decreto Nº 927		1/9/1986	Bilateral	No	No	Acuerdo de Cooperación en el campo de la investigación nuclear y de sus aplicaciones para fines pacíficos, suscrito en virtud de lo dispuesto en el Convenio Básico de Cooperación Científica y Técnica	Art.8 Venta y suministro de materiales nucleares sujeto a las disposiciones legales de cada Estado y los TI vigentes
Acuerdo entre Chile y el Reino de Tailandia para intercambiar información sobre energía nuclear con fines pacíficos	Decreto Nº 377		3/22/1990	Bilateral	No	No	Acuerdo para el Intercambio de Información sobre Energía Nuclear para Fines Pacíficos	No
Acuerdo de cooperación entre los Gobiernos de las Repúblicas de Chile y Ecuador usos pacíficos de la energía nuclear	Decreto Nº 348		5/29/1996	Bilateral	No	No	Acuerdo sobre Cooperación en el Campo de los Usos Pacíficos de la Energía Nuclear, adoptado en el marco del Convenio Básico de Cooperación Técnica y Científica.	No
Acuerdo de cooperación en el campo de los usos pacíficos de la energía nuclear, entre la República de Chile y la República Federativa del Brasil	Decreto Nº 159		8/12/2006	Bilateral	No	No	Acuerdo de Cooperación en el Campo de los Usos Pacíficos de la EN, adoptado en el marco del Acuerdo Básico de Cooperación Científica, Técnica y Tecnológica, conforme a su Art. X	Art.II Cooperación en diversos campos, Art. V Aplicación Salvaguardias

Nombre del Tratado	N° de la Norma	Ratificación	Publicación	Carácter	Reserva	Enmiendas	Contenido Relevante	Ciclo del Combustible
Convenio entre el Gobierno de la República de Chile y el Gobierno de la Federación de Rusia, sobre Cooperación para la Utilización Pacífica de la Energía Atómica	Decreto Nº 187	4/28/2006	9/4/2006	Bilateral	No	No	Acuerdo de cooperación en el área de la utilización de la energía atómica con fines pacíficos	Art.2 Cooperación en relación al Ciclo del Combustible Nuclear y otros, Art.9 Control de exportaciones sujeto a TNP, Salvaguardias y Protección Física
Convenio de cooperación en los usos pacíficos de la energía nuclear y sus anexos con Corea	Decreto N° 276	9/3/2006	9/14/2006	Bilateral	No	No	Acuerdo de cooperación en el área de la utilización de la energía atómica con fines pacíficos	Art.III Cooperación en el Ciclo de Combustible Nuclear, Art.IX Reprocesamiento y Enriquecimiento, Art.XI Salvaguardias, Art. XII Protección física
Tratado Antártico	Decreto Nº 361	6/23/1961	7/14/1961	Multilateral	No	No	Establece que la Antártica se utilizará exclusivamente para fines pacífico y prohíbe toda explosión nuclear en la Antártica, al igual que la eliminación de desechos radiactivos en ella.	Solo prohibición de eliminar desechos radioactivos en la Antártica.
Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre la Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos		No ha sido firmado	No ha sido firmado	Multilateral			Establece normas de seguridad y regula la gestión del combustible gastado y desechos radioactivos.	Si
Convenio 115 OIT Relativo a la Protección de los Trabajadores contra radiaciones ionizantes	Decreto N° 1907		03-03.1999	Multilateral	No	No	Establece normas de seguridad para proteger a los trabajadores contra radiaciones ionizantes.	No

Nombre del Tratado	N° de la Norma	Ratificación	Publicación	Carácter	Reserva	Enmiendas	Contenido Relevante	Ciclo del Combustible
Convenio sobre Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras materias	Decreto Nº 476	8/4/1977	10/11/1977	Multilateral	No	SI, pero irrelevantes para efectos del informe.	Prohíbe la contaminación del mar por el vertimiento de desechos y otras materias que puedan constituir un peligro para la salud humana, dañar los recursos biológicos y la vida marina, reducir las posibilidades de esparcimiento o entorpecer otros usos legítimos del mar.	No
Protocolo para la protección del pacífico sudeste contra la contaminación radioactiva.	Decreto Nº 720	8/19/1992	8/17/1995	Multilateral	No	No	Establece la prohibición de todo vertimiento de desechos radiactivos y otras sustancias radiactivas en el mar y/o en el lecho de éste, junto con la prohibición de todo enterramiento de desechos radiactivos u otras sustancias en el subsuelo del mar dentro del ámbito de aplicación del Convenio.	No

GLOSARIO	
Art.	Artículo
CTBT	Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty o Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares
EN	Energía Nuclear
ENPAN	Estados No Poseedores de Armas Nucleares
EPAN	Estados Poseedores de Armas Nucleares
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
OPANAL	Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe
ORA	Organo de Representantes de ARCAL
TI	Tratados Internacionales
TNP	Tratado de No Proliferación Nuclear

ANEXO C

MINUTAS DE REUNIÓN

13. ANEXO C: MINUTAS DE REUNIÓN

2560 – MO – 001 Revisión de Aspectos Legales
2560 – MO – 002 Revisión de Desarrollos actuales en el Ciclo de Combustible
2560 – MO – 003 Revisión de Aspectos de Protección Radiológica
2560 – MO – 004 Revisión de Aspectos de Producción y Servicios
2560 – MO – 005 Revisión de Aspectos de Seguridad Nuclear y Radiológica
2560 – MO – 006 Revisión de Aspectos de Aplicaciones Nucleares

AMEC - Cade amec

MINUTA DE REUNION

MINUTA Nº P-2560-MO-001 **PAGINA 195 DE 242**

CLIENTE : COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

PROYECTO : "ESTUDIO DE OPCIONES DE CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

FECHA DE REUNION : 14 de Enero de 2009
LUGAR DE REUNION : Oficinas de CCHEN
HORA INICIO : 11:00 Hrs.
HORA DE TÉRMINO : 12:30 Hrs.

PROPÓSITO : Revisión de Aspectos Legales
ASISTENTES :

AMEC-CADE - Stgo (C-I)	CCHEN
Sra. Maria Fernanda Diez (MFD)	Sr. Fernando López (FL)
Sr. Agustín Barroilhet (AB)	Sr. Luis Frangini (LF)
Sr. Aldo Di Biase (ADB)	

DISTRIBUCION : Asistentes, CNE, Archivo,

Estas notas resumen los puntos tratados en la reunión y se indican las decisiones resultantes y los responsables de ejecutarlas. La persona que no esté de acuerdo con el texto debe notificarlo de inmediato a AMEC-CADE detallando las modificaciones propuestas. Si en el plazo de tres días siguientes a la fecha de la minuta no se reciben comentarios, se considerará que estas notas constituyen un acta fiel de reunión, y se actuará de acuerdo a ello.

Rev. : B	**PREPARADO POR**	**A. Di Biase**
Fecha : 15 de Enero 2009	**APROBADO POR :**	**A. Di Biase**
	APROBADO POR :	**C. Hernández**

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
1.	FL declara su buena disposición para colaborar con el proyecto, al igual que de toda la CCHEN.		
2.	Se analizan los aspectos legales del Estudio que desarrolla AMEC-CADE. En este tema destacan los siguientes puntos: • No existen restricciones legales ni en Chile ni en los tratados internacionales para desarrollar cualquiera de las etapas del ciclo de combustible nuclear. • Si existen recomendaciones de parte de los organismos internacionales sobre la forma de implementar las diferentes etapas del ciclo. Adicionalmente, algunos proveedores de combustible pueden imponer restricciones específicas orientadas a la no proliferación de armamento atómico. • FL y LF son de opinión que las materias relacionadas con el ciclo de combustible deben ser reguladas por normas técnicas y no por una ley. • El transporte de material radioactivo es muy seguro. Además, se realiza con frecuencia en el país. • El proveedor de la central nuclear es, normalmente, también el proveedor del combustible asociado. Esto no es cierto en el 100% de los casos, pero puede considerarse como una recomendación para la primera central. • Es altamente conveniente (y una recomendación de la AIG) que se cree un órgano regulador independiente para la energía núcleo eléctrica. • Por ley, en Chile no es posible almacenar desechos radioactivos generados en otros países. Esto es similar a lo que ocurre en la mayoría de los países. Sin embargo, algunos países retiran el desecho de los combustibles suministrados por ellos para disminuir el riesgo de proliferación de electos y material bélico radioactivo.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
3.	Ante la consulta de ADB, FI indica que no existe ningún problema para que contactemos al Sr., Gonzalo Torres y revisar con él los aspectos técnicos del Estudio.		

AMEC - Cade amec

MINUTA DE REUNION

MINUTA Nº P-2560-MO-002 **PAGINA 198 DE 242**

CLIENTE : COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

PROYECTO : "ESTUDIO DE OPCIONES DE CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

FECHA DE REUNION : 21 de Enero de 2009
LUGAR DE REUNION : Centro Nuclear Lo Aguirre - CCHEN
HORA INICIO : 10:00 Hrs.
HORA DE TÉRMINO : 15:00 Hrs.

PROPÓSITO : Revisión de Aspectos Legales
ASISTENTES :

AMEC-CADE	CNE	CCHEN
Sr. Alejandro Steiner (AS)	Sra. Carolina Hernández (CH)	Sr. Gonzalo Torres (GT)
Sr. Javier Lozano (JL)	Sra. Soledad Barrios (SB)	
Sr. Aldo Di Biase (ADB)		

DISTRIBUCION : Asistentes, Archivo,

Estas notas resumen los puntos tratados en la reunión y se indican las decisiones resultantes y los responsables de ejecutarlas. La persona que no esté de acuerdo con el texto debe notificarlo de inmediato a AMEC-CADE detallando las modificaciones propuestas. Si en el plazo de tres días siguientes a la fecha de la minuta no se reciben comentarios, se considerará que estas notas constituyen un acta fiel de reunión, y se actuará de acuerdo a ello.

Rev. : 0	**PREPARADO POR**	**A. Di Biase**
Fecha : 26 de Enero 2009	**APROBADO POR :**	**A. Di Biase**
	APROBADO POR :	**C. Hernández**

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
1.	ADB explica el contexto del proyecto. Por lo tanto, el objetivo de la visita es comprender las capacidades de CCHEN para desarrollar parte del ciclo del combustible en Chile.		
2.	GT explica la historia del Reactor de Lo Aguirre y su relación con la historia de CCHEN. Los hitos más importantes son: • En su origen, el Reactor no está asociado a CCHEN, sino al Ejército, el año 1976 se integra CCHEN. • El Reactor se terminó de construir el año 1989. Durante este periodo, se realizaron importantes cambios a su diseño, usando las capacidades internas de ingeniería. • El año 1989 se puso en marcha, pero se ha mantenido apagado, dado que no ha existido la necesidad de su uso, en función de sus objetivos originales. • El objetivo del Centro de Lo Aguirre era y sigue siendo doble: o Apoyo al desarrollo de la instalación y operación de una Central Núcleo Eléctrica; el reactor tiene una capacidad de 10MW, aunque podría llegar a 15MW. o Apoyo para el desarrollo del ciclo de combustible en Chile para la producción de materiales radioactivos. • En el Reactor de La Reina se producen radioisótopos y se realizan análisis elementales a materiales. Esta capacidad instalada es suficiente para la demanda existente en Chile. De hecho, este Reactor sólo funciona los días viernes. • Durante los años ’70 y comienzos de los ’80 se realizaron diversos proyectos tendientes a construir una Central Núcleo Eléctrica en Chile. En ellos, entre otras cosas, se preparó el personal requerido y se hicieron prospecciones en el territorio en la búsqueda de uranio.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	• A mediados de los años ’80 se cerraron estos proyectos por temas económicos y políticos. Sin embargo, CCHEN ha continuado su labor, desarrollando know how de fabricación en Chile en algunas tecnologías del ciclo del combustible.		
3.	GT explica que actualmente la CCHEN cuenta con el know how, tecnología e infraestructura para desarrollar la parte frontal del ciclo del combustible para reactores experimentales: La Reina y Lo Aguirre. Esto considera: • Una Planta Piloto para la obtención de uranio (yellow cake) a partir de minerales nacionales. Si los estudios técnicos y económicos lo avalan, se podría construir una planta a escala industrial. • Elaboración de uranio metálico a partir de hexafluoruro de uranio (ya enriquecido) en forma gaseosa. • Fabricación del combustible tipo MTR de bajo enriquecimiento a partir del uranio metálico. El personal de AMEC visita las plantas y laboratorios de Conversión, de Hidrometalurgia y de Fabricación de combustible. El personal de CNE sólo a esta última, ya que se retiró en forma anticipada de la reunión. Estos procesos se realizan a una escala de producción adecuada para reactores de investigación (como los chilenos). La tecnología es diferente para la producción de combustible para reactores de potencia de energía eléctrica: enriquecimiento de uranio, compuestos, y materiales. Sin embargo, el how disponible es habilitante para ciertos desarrollos locales de ser requeridos. Por otra parte, el personal de CCHEN ha participado activamente en el diseño y construcción de las plantas de producción de material radioactivo, por lo que posee un conocimiento profundo de su funcionamiento. Esto les ha		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	permitido incorporar cambios y mejoras al proceso. La CCHEN no ha adquirido los conocimientos para los procesos de enriquecimiento ni de reprocesamiento. Pero se debe considerar que la tecnología de estos procesos no es entregada por los países desarrollados, por lo que su desarrollo queda fuera de las posibilidades de corto y mediano plazo para Chile. GT explica que el ciclo que se desarrolla en Chile cumple con rigor las exigencias internacionales, por lo que el combustible puede ser exportado, situación que aún no se ha concretado, pero existen las negociaciones para ello (en escalas pequeñas, para reactores de investigación como los chilenos).		
4.	GT explica que la actual capacidad de almacenamiento temporal de combustible usado permite su almacenamiento por muchos años en las piletas de cada reactor. Al respecto, indica EEUU ha aplicado una política tendiente a retirar el combustible gastado enriquecido en dicho país; tal como ocurrió en los años 1997 y 1998 con los elementos gastados del reactor de La Reina. Otros países, como China y Rusia, no incorporan esa cláusula; para estos desechos se deberá buscar una solución en su oportunidad.		
5.	En Lo Aguirre opera, además, una empresa dedicada a la irradiación gama para esterilización de materiales. Esta empresa trabaja en tres turnos (24 horas al día), dando servicios de irradiación en forma comercial a clientes externos. Algunos son exportadores de estos materiales.. Además, en Chile existen otros dos irradiadores gamma. Uno pertenece al SAG y es usada para el control de la mosca de la fruta. El otro, es experimental y está en el Centro Nuclear de La Reina; es de baja capacidad.		
6.	GT indica que legalmente no existe ninguna restricción para		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	que un privado desarrolle cualquiera de las actividades del ciclo de combustible. CCHEN controla las importaciones de material radioactivo y las radiaciones existentes en el país en un programa de vigilancia radiológica.		
7.	Al visitar la planta de fabricación de combustible se observa que existen tres procesos principales: • Preparación del uranio • Preparación de elementos estructurales y del elemento combustible • Control de calidad Al respecto, se indica que CCHEN cuenta con una certificación ISO 9000 para esta planta. Además, cuenta con un riguroso sistema de control de calidad apoyado con instrumentación de punta. Esto permite la fabricación de material que supera con holgura las especificaciones internacionales		
8.	La selección del proveedor de combustible no está necesariamente asociada al proveedor de la Central. Sin embargo: • Pueden existir presiones políticas para que esto sea así. • Cada proveedor puede imponer restricciones para la venta de combustible, realizándose una negociación caso a caso. En algunos casos se hace leasing del combustible (como lo impulsa EEUU) de forma tal que el proveedor retira el combustible usado y lo retorna a su país para el reprocesamiento.		
9.	Para el control de la radiación sobre las personas, existe el Departamento de Protección Radiológica, que opera en La Reina, y también en Lo Aguirre.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	Se utiliza la tecnología de Film Badges, registrándose la exposición real de cada profesional. Si se detectan anomalías se analiza su causa para solucionarla. GT indica que no se ha presentado aún el caso de un trabajador que haya estado expuesto a un nivel peligroso de radiación.		

AMEC - Cade amec

MINUTA DE REUNION

MINUTA Nº P-2560-MO-003 **PAGINA 204 DE 242**

CLIENTE : COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

PROYECTO : "ESTUDIO DE OPCIONES DE CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

FECHA DE REUNION : 2 de Febrero de 2009
LUGAR DE REUNION : Centro de Estudios Nucleares La Reina - CCHEN
HORA INICIO : 10:00 Hrs.
HORA DE TÉRMINO : 12:00 Hrs.

PROPÓSITO : Revisión de Aspectos de Protección Radiológica
ASISTENTES :

AMEC-CADE	CCHEN
Sr. Aldo Di Biase (ADB)	Sra. Loreto Villanueva (LV)

DISTRIBUCION : Asistentes, CNE, Archivo,

Estas notas resumen los puntos tratados en la reunión y se indican las decisiones resultantes y los responsables de ejecutarlas. La persona que no esté de acuerdo con el texto debe notificarlo de inmediato a AMEC-CADE detallando las modificaciones propuestas. Si en el plazo de tres días siguientes a la fecha de la minuta no se reciben comentarios, se considerará que estas notas constituyen un acta fiel de reunión, y se actuará de acuerdo a ello.

Rev. : 0	**PREPARADO POR**	**A. Di Biase**
Fecha : 4 de Febrero 2009	**APROBADO POR :**	**A. Di Biase**
	APROBADO POR :	**C. Hernández**

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
1.	ADB explica el contexto del proyecto. Por lo tanto, el objetivo de la visita es obtener diversas perspectivas sobre las capacidades de CCHEN para desarrollar parte del ciclo del combustible en Chile.		
2.	LV explica la actividad que desarrolla el Departamento de Protección Radiológica y Ambiental que dirige en sus diferentes Secciones:		
2.1.	<u>Protección Radiológica Operacional</u> Lo más importante para esta Protección lo constituyen los Procedimientos y el Equipamiento (información). El sistema de protección radiológica surge para satisfacer los requisitos o condiciones que impone el Departamento de Seguridad Nuclear (de la propia CCHEN) para el licenciamiento de las instalaciones (son del orden de 15 instalaciones). El registro se realiza tanto con detectores fijos (asociados a una instalación) como móviles. Esta tecnología es sencilla, pero desde el año 2000 han estado desarrollando un proyecto para integrarlos en un Sistema Integrado de Monitoreo a Distancia. Actualmente existen cuatro instalaciones funcionando, y se pretende integrar el resto. Se está realizando el proceso de patentamiento de este sistema. Además, se está implementando en la División Andina de Codelco (actualmente en marcha blanca) para el monitoreo del orden de 80 instrumentos de control. Esta Sección realiza, además, las siguientes funciones: • Atención de Emergencias Radiológicas (para externos): Principalmente asociadas a robos o incendios (12 a 20 incidentes al año) o a la detección de radiación en fundiciones de chatarra (5 ó 6 al año). También colabora con Aduana si hay una		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	importación de material radioactivo. Para esta función se dispone de un Laboratorio Móvil, que está bien equipado, pero que este año debería completarse. • Capacitación a externos: Principalmente para los cursos de Operador de Instalaciones Radioactivas (tanto de 1ª como de 2ª y 3ª categoría). También colaboran con algunas Universidades en cursos para pre y post grado. Junto con esta capacitación, también entrega asesoría.		
2.2.	<u>Metrología Radiaciones Ionizantes</u> Esta Sección posee Patrones Secundarios debidamente certificados, que se utilizan para calibrar detectores y otros equipos como fuentes generadoras de radiación ionizante radiológicas (utilizadas en bunkers), tanto al interior de la CCHEN como para usuarios externos.		
2.3.	<u>Gestión de Desechos Radiactivos</u> Gestiona los desechos de tanto de la propia CCHEN como de usuarios externos. Estos usuarios externos corresponden tanto a primera categoría (regulada por CCHEN) como a segunda y tercera categoría (regulados por Min. Salud). Respecto de los usuarios externos la legislación no obliga a la CCHEN a aceptarlos (de hecho, quien opera un equipo radiactivo es quien, por ley, debe hacerse cargo de sus desechos), pero se han constituido en la única institución que puede manejarlos. (Aun así, la CCHEN no recibe todos los desechos que se generan en el país). En la actualidad los desechos que genera la CCHEN se deben principalmente a: • Desechos provenientes de las aplicaciones nucleares en desarrollo, particularmente la producción de radioisótopos • Desechos provenientes de la operación del reactor RECH-1, tales como resinas de intercambio iónico		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	• Desechos provenientes del uso de ropas de trabajo, cubrecalzados, etc. A nivel país, de usuarios externos, se recibe una amplia gama de desechos, tanto de aplicaciones médicas como industriales de las radiaciones. Una alta proporción de ellas corresponde a fuentes selladas, provenientes de instrumentación de control nucleónico de amplio uso en la industria, así como a cabezales decaídos de cobaltoterapia y fuentes de braquiterapia, y desechos diversos provenientes de universidades y centros de investigación. A futuro, a largo plazo de parte de CCHEN, los desechos también comprenderán: • Combustible gastado: Como actualmente se utiliza combustible de origen ruso no está claro si se podrá devolver a Rusia (como ocurrió con el de origen estadounidense) y la CCHEN deberá considerar su disposición de largo plazo. • Desechos de Decommissioning: Si bien en opinión de LV, no se espera un decommissioning de sus instalaciones para antes de 40 años, la CCHEN debe estar preparada para ello. Además, el recambio de piezas y/o sistemas puede dar origen a desechos. Las principales instalaciones de gestión de desechos se encuentran en Lo Aguirre. En particular, el almacén principal. LV estima que la capacidad actualmente disponible será copada en dos años (considerando la tasa actual de generación de desechos de 2 m^3 al año). Por este motivo, existen dos proyectos en desarrollo: • Construcción de un nuevo almacén en Lo Aguirre, que está en proceso de aprobación en la Corema. • Uso de tecnología sudafricana, a través de apoyo del OIEA, para reducir el volumen de los desechos. (Esto es hoy sólo una posibilidad que se empieza a ser explorada).		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	En opinión de LV, en cualquier caso, el país debe empezar a pensar en el almacenamiento a largo plazo y la disposición final de los desechos ya generados y en generación.		
2.4.	<u>Radio Medicina</u> Está orientado a efectuar el control médico y de contaminación interna de las personas ocupacionalmente expuestas en la CCHEN, y también realizan servicios externos. Realizan detección *in vivo* con un equipo que permite monitorear todo el cuerpo del paciente. También desarrollan dos procedimientos *in vitro*. El primero corresponde a exámenes rutinarios de orina. Aparte de ello, se efectúa dosimetría biológica o citogenética, que corresponde a un examen de sangre que mide aberraciones cromosómicas y se realiza ante situaciones especiales cuando se sospecha sobreexposición accidental a radiaciones. Una situación especial correspondió al incidente ocurrido en la planta de celulosa de Nueva Aldea. En esa oportunidad, y dada la gran cantidad de exámenes que debieron realizarse, se contó con el apoyo de grupos similares de Argentina, Brasil y México.		
2.5.	<u>Vigilancia Radiológica Ambiental</u> Tiene fundamentalmente tres actividades orientadas a análisis radiológico para: • Control de exportaciones; principalmente de frutas, verduras, lácteos y chatarra. • Control de las aguas. • Control ambiental del sitio de los propios reactores de la CCHEN, principalmente a través de la		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	determinación de concentración ambiental de isótopos de yodo (que son producidos en La Reina). Este año comienza un proyecto de reemplazo de los equipos para reemplazar el sistema actual en base a muestras por otro de medición continua.		
2.6.	Seguridad Física Ha aumentado mucho desde el año 2001, debido a la presión de los países desarrollados para evitar que material nuclear pueda llegar a grupos terroristas que pudiesen armar una "bomba sucia". Actualmente cuenta con alarmas y detectores; y están en desarrollo los procedimientos. También se han contratado guardias, que complementan la labor realizada, por mandato legal, por la Policía Militar.		
2.7.	Prevención de Riesgos Actúa como un área estándar de este tema de cualquier empresa.		
2.8.	Gestión Ambiental Esta Sección está encargada de la disposición de desechos convencionales (no nucleares), por lo que es similar a la de una empresa también convencional. La intención de la Sección es llegar a los estándares exigidos por la norma ISA 14.000; aunque no necesariamente se certificarán.		
3.	Otros Departamentos de la CCHEN con que el departamento de Protección Radiológica y Ambiental se relaciona directamente: • Seguridad Nuclear y Radiológica: Este Departamento impone los requerimientos o		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	condiciones para el licenciamiento de instalaciones de 1ª categoría (para la CCHEN y para externos). En el caso de instalaciones internas y algunas externas, el Departamento de Protección Radiológica y Ambiental colabora activamente (en la forma de entrega de asesoría) en el cumplimiento de estos requisitos. • Producción y Servicios: En este Departamento existe la Sección de Dosimetría Personal que controla la exposición de las personas a radiación (del orden de 200 internos y 4.000 externos).		
4.	LV considera que el incidente ocurrido en la planta de celulosa de Nueva Aldea ha marcado un punto de inflexión en el país. Luego de este incidente, tanto las empresas como las personas han mostrado mayor interés, preocupación y conciencia por el tema nuclear. El Departamento de Protección Radiológica y Ambiental lo ha notado por el aumento de solicitudes de externos que ha recibido.		
5.	Para evitar problemas con la población considera que debería generarse un ordenamiento territorial para actividades radiológicas, que estableciera los lugares donde puede y no pueden existir almacenes de fuentes radiactivas. En la actualidad no existe, y se dan casos en que se almacenan fuentes radiactivas en casas- habitación, en algún barrio determinado. Es importante indicar que la situación anterior no conlleva un riesgo indebido, si se cumplen todos los requerimientos regulatorios. Sin embargo, a la población afectada le causa un motivo de preocupación.		
6.	LV señala que existe bastante regulación internacional para los temas nucleares, con exigencias bastante claras y complejas. Pero que también facilitan la colaboración internacional en estos temas.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	Un ejemplo de esto es la necesidad que ha manifestado el SAG para la compra de un nuevo irradiador, que después de más de un año aún no ha podido concretar. Chile a firmado casi todos los tratados o convenios internacionales de la materia, así como sus reglamentos específicos. Pero, a juicio de LV, debe aún completar su legislación interna para servirlos completamente.		
7.	En el Departamento trabajan 39 personas, la mayoría profesionales o técnicos. Para el año 2009, el presupuesto es de 250 millones de pesos, de los cuales 100 millones de pesos están destinados a inversión en equipos. A este presupuesto se deben agregar los sueldos del personal.		
8.	LV considera que posee la infraestructura para realizar su labor, aunque considera que los laboratorios debieran ser reforzados y/o modernizados. Desde esta perspectiva, considera que el principal desafío de su gestión es contar con una infraestructura para la adecuada atención de emergencias radiológicas. En el caso del incidente en Nueva Aldea se actúo correctamente, pero esto debe ser formalizado y modernizado. De esta manera será más simple también la integración con redes internacionales que se han formado para estos temas.		
9.	LV considera que, dada la actual actividad nuclear en Chile, es necesario generar un ente regulador que sea independiente de la CCHEN. Este organismo regulador debería tener a su cargo todos los materiales (ya sean de 1ª o de 2ª o 3ª categoría), reemplazando estas funciones tanto de la CCHEN como del Ministerio de Salud.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
10.	LV considera que la CCHEN está preparada para un proyecto Núcleo Eléctrico en el país. Sus diferentes Departamentos y Secciones pueden ser la base para las respectivas funciones en un proyecto de esta naturaleza. Aunque para este proyecto, estos Departamentos y Secciones deberían crecer tanto en personal como en equipamiento y acceder a la capacitación requerida.		

AMEC - Cade amec

MINUTA DE REUNION

MINUTA Nº P-2560-MO-004 **PAGINA 213 DE 242**

CLIENTE : COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

PROYECTO : "ESTUDIO DE OPCIONES DE CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

FECHA DE REUNION : 11 de Febrero de 2009
LUGAR DE REUNION : Centro de Estudios Nucleares La Reina - CCHEN
HORA INICIO : 15:00 Hrs.
HORA DE TÉRMINO : 17:30 Hrs.

PROPÓSITO : Revisión de Aspectos de Producción y Servicios
ASISTENTES :

AMEC-CADE	CCHEN
Sr. Aldo Di Biase (ADB)	Sra. Rosemarie Schrader (RS)

DISTRIBUCION : Asistentes, CNE, Archivo,

Estas notas resumen los puntos tratados en la reunión y se indican las decisiones resultantes y los responsables de ejecutarlas. La persona que no esté de acuerdo con el texto debe notificarlo de inmediato a AMEC-CADE detallando las modificaciones propuestas. Si en el plazo de tres días siguientes a la fecha de la minuta no se reciben comentarios, se considerará que estas notas constituyen un acta fiel de reunión, y se actuará de acuerdo a ello.

Rev. : 0	**PREPARADO POR**	**A. Di Biase**
Fecha : 12 de Febrero 2009	**APROBADO POR :**	**A. Di Biase**
	APROBADO POR :	**C. Hernández**

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
1.	ADB explica el contexto del proyecto. Por lo tanto, el objetivo de la visita es obtener diversas perspectivas sobre las capacidades de CCHEN para desarrollar parte del ciclo del combustible en Chile.		
3.	El Departamento de Producción y Servicios se forma el año 2003 para potenciar la capacidad de la CCHEN de generar parte de su presupuesto. En la actualidad, la venta de productos y servicios representa entre el 20 y el 25% del presupuesto total de la CCHEN.		
2.	RS explica la actividad que desarrolla el Departamento de Producción y Servicios que dirige en sus diferentes Secciones:		
2.1.	<u>Producción de Radioisótopos y Radiofármacos</u> Se producen una diversidad de radioisótopos. Aproximadamente, el 98% de ellos se utilizan en la medicina, mientras que el resto en aplicaciones industriales. Por lo tanto, sus principales clientes corresponden a grandes hospitales y clínicas privadas de Arica a Punta Arenas. Los radioisótopos más importantes corresponden al Tecnecio-99 metaestable y el Yodo-131. El Tecnecio-99m se obtiene como producto de la desintegración del Molibdeno-99, que a su vez, se obtiene por 2 vías: activando Mo-98 en el reactor nuclear bombardeándolo con neutrones, o a partir de la fisión del Uranio en el Reactor. El Tecnecio se utiliza principalmente en diagnóstico médico, realizándose del orden de 20 a 25 millones de ellos al año en el mundo. En Chile, se realizan del orden de 200.000 al año.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	Por su corto período de semidesintegración (6 horas), por la baja energía que emite al decaer y su rápida eliminación, se utiliza en diagnósticos de diferentes partes del cuerpo. Sin embargo, este corto período de semidesintegración hace que pueda ser utilizado sólo en Santiago. Para el resto de las Regiones se utiliza un generador de Molibdeno – Tecnecio de utilidad de 1 semana. Este generador no es producido en Chile, aunque existe un proyecto para fabricarlo a partir del próximo año. Este proyecto cuenta con el apoyo de diversos países con el fin de aumentar la capacidad de producción mundial del precursor, Mo-99; se desea superar la escasez mundial de este producto. Se pretende realizar exportación de estos generadores en tres años más. A nivel internacional, este proyecto tiene como objetivo secundario, la reducción del transporte de material radiactivo, disminuyendo la posibilidad de un robo de él (para fabricar una bomba sucia). El Yodo-131 se utiliza tanto para el diagnóstico como para el tratamiento del cáncer en las tiroides. El Yodo se exporta, principalmente a Ecuador. Adicionalmente se producen otros radioisótopos en el Reactor, tales como Samario-153, Lutecio-177, Holmio-166, Bromo-82, Fósforo-32, Iridio-192, Rubidio-86, Cobre-64, Sodio-24 y Potasio- 42. En el Ciclotrón se produce Flúor-18, que al marcar la glucosa, permite realizar diagnósticos más precisos y tempranos, pero sólo existen 4 centros que poseen la tecnología en Santiago. Esta Sección también produce radiofármacos, que corresponden a los fármacos marcados con los radioisótopos anteriores.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	En general, los productos y sus procesos productivos se han basado en desarrollos de países desarrollados, que se han aplicado en Chile. A todos los productos se les realiza controles de calidad químicos, radionuclídicos y biológicos. Los procesos de producción se encuentran certificados ISO 9001:2000. También se realizan experiencias en ratones y ratas, pero fundamentalmente para el desarrollo de nuevos productos.		
2.2.	<u>Planta Irradiación Multipropósito (PIM)</u> Esta Planta (conocida como PIM) se ubica en Lo Aguirre. Operó en forma interna hasta el año 2003, en que se realizó una licitación pública y contrato con CCE (Cia. Chilena de Esterilización), formada por Fundación Chile y una empresa brasileña, CBE, para realizar la comercialización de los servicios de irradiación. CCHEN opera y mantiene la Planta. Se utiliza la Radiación Gamma para: - Esterilización de material médico quirúrgico que no puede esterilizarse por los métodos convencionales. - Tratamiento de alimentos, para prolongar su vida útil (retardando su maduración o inhibiendo los brotes, como es el caso de los tubérculos) o para aumentar su higienización (al eliminar elementos patógenos contaminantes). Esta Planta en Lo Aguirre cuenta con el servicio de certificación de la dosis de radiación aplicada al producto, para los casos que lo requiera el cliente. En La Reina existen 3 irradiadores experimentales de menor tamaño. Se utilizan para investigar las dosis adecuadas a cada material, y uno de ellos para irradiar la sangre que se administrará a pacientes inmuno deprimidos.		
2.3.	<u>Dosimetría Personal</u>		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	En la actualidad atiende del orden de 240 empleados de la CCHEN (el resto de los empleados no están expuestos a radiaciones y no requieren un control dosimétrico) y a aproximadamente 4.800 usuarios externos. Las tecnologías que utilizan son: - Película de Rayos X - Cristales especiales (que, a su vez, tiene variantes); tienen la ventaja que son reutilizables Existen los dosímetros de cuerpo entero y los de anillo, para quienes trabajan con sus manos especialmente expuestas. Dependiendo del trabajo (nivel de exposición) el dosímetro de una persona se cambia y analiza en forma mensual o bimensual. Para algunos usuarios externos, se cambia y analiza en forma trimestral. Para cada persona se realiza un informe que indica la radiación recibida en el período, en el último año y en los últimos cinco años. La Agencia Internacional de Energía Atómica redujo la recomendación de exposición de trabajadores ocupacionalmente expuestos de 50 miliSievert al año a 20, y para la exposición en cinco años de 250 a 100 miliSievert. Si bien la legislación nacional no ha incorporado este cambio, para los empleados de la CCHEN sí se está aplicando. Justamente por este cambio, hubo una persona que debió ser reasignada a otras funciones (no expuestas a radiación) por tres años. La calidad de las mediciones es, según indica RS, muy buena. Anualmente se participa en una ronda de intercomparación organizada por el ISP y en una ronda internacional organizada por la AIEA. En ambos casos, los resultados entregados por esta Sección son muy cercanos al patrón de referencia.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
2.4.	<u>Oficina Comercial</u> Está orientada a apoyar los procesos comerciales de la CCHEN: venta, facturación y cobranza. Adicionalmente, se encarga de realizar el marketing asociado y los estudios que se requieran (principalmente del costo de los productos y servicios). En mayo de 2008 se hizo cargo de esta Sección un Ingeniero Industrial.		
3.	Las cuatro secciones indicadas cuentan con certificación ISO 9001:2000, revalidada el año 2007. Todos los años BVQI realiza una auditoría de seguimiento de la certificación.		
4.	RS indica que existe un compromiso con el Ministerio de Hacienda por una meta de ingresos creciente. Sin embargo, para el presupuesto de este año se ha dado una mayor preponderancia a la Investigación y Desarrollo, en desmedro de aplicaciones directamente comerciales.		
5.	Posteriormente, se realizó un recorrido por el Reactor y por el Laboratorio de Producción de Radioisótopos, donde RS explica sus principales características y usos. Entre estas características destacan las medidas para el monitoreo y control de irradiación y el blindaje de los diferentes elementos.		

AMEC - Cade amec

MINUTA DE REUNION

MINUTA Nº P-2560-MO-005 **PAGINA 219 DE 242**

CLIENTE : COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

PROYECTO : "ESTUDIO DE OPCIONES DE CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

FECHA DE REUNION : 11 de Marzo de 2009
LUGAR DE REUNION : Centro de Estudios Nucleares La Reina - CCHEN
HORA INICIO : 09:00 Hrs.
HORA DE TÉRMINO : 11:00 Hrs.

PROPÓSITO : Revisión de Aspectos de Seguridad Nuclear y Radiológica
ASISTENTES :

AMEC-CADE	CCHEN
Sr. Aldo Di Biase (ADB)	Sr. Mauricio Lichtemberg (ML)

DISTRIBUCION : Asistentes, CNE, Archivo,

Estas notas resumen los puntos tratados en la reunión y se indican las decisiones resultantes y los responsables de ejecutarlas. La persona que no esté de acuerdo con el texto debe notificarlo de inmediato a AMEC-CADE detallando las modificaciones propuestas. Si en el plazo de tres días siguientes a la fecha de la minuta no se reciben comentarios, se considerará que estas notas constituyen un acta fiel de reunión, y se actuará de acuerdo a ello.

Rev. : 0		**PREPARADO POR**	**A. Di Biase**
Fecha : 30 de Marzo 2009		**APROBADO POR :**	**A. Di Biase**
		APROBADO POR :	**C. Hernández**

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
1.	ADB explica el contexto del proyecto. Por lo tanto, el objetivo de la visita es obtener diversas perspectivas sobre las capacidades de CCHEN para desarrollar parte del ciclo del combustible en Chile.		
2.	El Departamento de Seguridad Nuclear y Radiológica responde a la obligación legal de la CCHEN en orden a regular la operación segura de las instalaciones nucleares y fiscalizar las instalaciones de primera categoría en el país.		
3.	ML explica que la capacidad actual del Departamento es adecuada para las instalaciones existentes controladas por la CCHEN en el país. Pero que sería insuficiente si se establece un programa de núcleo electricidad. Es por ello, que se está trabajando en un análisis de las brechas existentes en la infraestructura requerida para lanzar un programa nuclear, ello de acuerdo con una metodología desarrollada por el OIEA.		
4.	En lo que respecta al Ciclo de Combustible, la opinión de ML es similar. Las actividades que se desarrollan en Lo Aguirre son adecuadas para la escala actual del desarrollo de la industria nuclear del país, pero no para un programa de núcleo electricidad. En ese sentido, no considera que Chile deba desarrollar capacidades en las áreas de enriquecimiento ni de reprocesamiento sino que debe adquirir el conocimiento adecuada para aportar su asesoría frente a una situación de toma de decisión.		
5.	Anualmente se fiscalizan las instalaciones radiactivas de primera categoría, las que actualmente son del orden de 600. Lo normal es que finalicen su operación de 10 a 15 instalaciones cada año, generándose otras 20 a 25. Sin		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	embargo, en el presente año, la tasa de incorporación de nuevas instalaciones ha sido menor que antes. El control de los equipos de Gammagrafía (utilizado en ensayos no destructivos para revisar la calidad de las soldaduras) resulta complejo tanto por la cantidad existentes en el país como por su movilidad. Sin perjuicio de lo anterior, son las instalaciones de la propia CCHEN las que generan los requerimientos técnicos más complejos.		
6.	Las instalaciones para la gestión de desechos radioactivos también son reguladas y fiscalizadas por este Departamento. Las instalaciones de la CCHEN reciben desechos radiactivos generados en instalaciones radiactivas distribuidas en todo el territorio nacional tanto de primera categoría como de segunda y tercera, estas ultimas bajo control del Ministerio de Salud. Por los riesgos que consideran este tipo de desechos, ML cree que puede ser conveniente que, por ley, la CCHEN deba hacerse cargo de la gestión segura de ellos.		
7.	En el Departamento trabajan 22 personas, que atiende desde Santiago las necesidades de todo el país. El Ministerio de Salud tiene personal distribuido en todo el país para fiscalizar las instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría. Este Ministerio debe además fiscalizar otros aspectos sanitarios que están bajo su mandato. En general, no existe conflicto de interpretación sobre a qué categoría pertenece un equipo nuevo (y por lo tanto quién lo debe fiscalizar, si la CCHEN o el Ministerio de Salud). Además, se tiene un acuerdo que si en una institución hay		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	equipos de primera categoría junto a otros de segunda o tercera, entonces basta con ejercer el control regulador por parte de la CCHEN. Por otra parte, tanto el Ministerio como la CCHEN poseen instalaciones que son reguladas y fiscalizadas por la misma institución. Para lograr una mayor independencia, ML considera necesario crear una institución que realice sólo la inspección y fiscalización de todas las instalaciones (independiente de su categoría). El Departamento que él dirige sería la base de esta institución. De hecho ha estado trabajando (junto a otras instituciones) en un proyecto en este sentido. Si se considera un único organismo regulador para todas las instalaciones deberá revisarse la necesidad de aumentar la dotación y su distribución en el país.		
8.	Si se produce efectivamente la separación de la CCHEN, entonces los Departamentos no orientados a la Regulación y Fiscalización debería, a juicio de ML, continuar con sus labores actuales. Pero, también considera que debería aumentarse la investigación e innovación científica y tecnológica. Por ejemplo, puede profundizarse el proyecto de obtención de uranio a partir de los relaves de cobre.		
9.	ML considera que existe una gran posibilidad de integración en estos temas con otros países. En particular, la CCHEN a utilizado largamente las capacidades de capacitación y entrenamiento que ofrece Argentina (en temas de Ingeniería Nuclear y Seguridad Radiológica). De hecho, la mayoría de los especialistas han estudiado allí. En estos momentos existen dos profesionales realizando una Maestría en Bariloche y próximamente la comenzará un tercero. Las posibilidades se integración no son solamente en la		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	capacitación, también existen posibilidades en las áreas técnicas, administrativas y legales; incluyendo la incorporación de las experiencias de otros países. La OIEA ha elaborado guías que facilitan la identificación de los temas en que puede darse esta integración y la forma en que se haría.		
10.	En particular, para los temas del Ciclo de Combustible, ML considera que Chile podría exportar el combustible de reactores de investigación, aunque para ello podría ser necesario la asociación con alguna empresa internacional que se instale en Chile.		
11.	ML informa que se está desarrolla un proyecto de auto evaluación de las capacidades nucleares en el país de acuerdo a la metodología elaborada por la OIEA. Esto permitirá identificar los temas que requieren mayor desarrollo para la implementación de un programa de núcleo electricidad.		
12.	Se realiza una visita al Reactor, que está funcionando. De esta forma es posible observar el efecto Cherenkov.		

AMEC - Cade amec

MINUTA DE REUNION

MINUTA Nº P-2560-MO-006 **PAGINA 224 DE 242**

CLIENTE : COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

PROYECTO : "ESTUDIO DE OPCIONES DE CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR".

FECHA DE REUNION : 11 de Marzo de 2009
LUGAR DE REUNION : Centro de Estudios Nucleares La Reina - CCHEN
HORA INICIO : 09:00 Hrs.
HORA DE TÉRMINO : 11:00 Hrs.

PROPÓSITO : Revisión de Aspectos de Aplicaciones Nucleares
ASISTENTES :

AMEC-CADE	CCHEN
Sr. Aldo Di Biase (ADB)	Sr. Oscar Durán (OD)
	Sr. Juan Klein (JK)

DISTRIBUCION : Asistentes, CNE, Archivo,

Estas notas resumen los puntos tratados en la reunión y se indican las decisiones resultantes y los responsables de ejecutarlas. La persona que no esté de acuerdo con el texto debe notificarlo de inmediato a AMEC-CADE detallando las modificaciones propuestas. Si en el plazo de tres días siguientes a la fecha de la minuta no se reciben comentarios, se considerará que estas notas constituyen un acta fiel de reunión, y se actuará de acuerdo a ello.

Rev. : 0	**PREPARADO POR**	**A. Di Biase**
Fecha : 12 de Marzo 2009	**APROBADO POR :**	**A. Di Biase**
	APROBADO POR :	**C. Hernández**

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
1.	ADB explica el contexto del proyecto. Por lo tanto, el objetivo de la visita es obtener diversas perspectivas sobre las capacidades de CCHEN para desarrollar parte del ciclo del combustible en Chile.		
2.	OD explica que el Departamento de Aplicaciones Nucleares está orientado principalmente a aplicaciones utilizadas por terceros. Las principales aplicaciones corresponden a: - Trazadores radioactivos para la minería - Agricultura - Hidrología - Metrología química - Salud y alimentos, con fuentes fuertes (radiación gama) Para ello, en el reactor se producen isótopos o materiales radioactivos, pero en algunas aplicaciones se utilizan los isótopos que están presentes en la naturaleza. Los tipos de estudios que realizan corresponden a análisis de procesos: - Tiempos de procesos - Caudales - Filtraciones - Usos de fertilizantes - Procesos erosivos		
3.	OD indica que las instalaciones de ambos reactores RECH-1 y RECH-2 (La Reina y Lo Aguirre, respectivamente) y la planta de combustible (PEC) corresponden a lo esencialmente nuclear. El reactor RECH-2 se puso crítico en 1989 y estuvo en operación a potencia de 0,5 a 2 MW entre 1991 a 1993, generando una energía acumulada de aproximadamente 155 MWh. Actualmente no se opera, al no existir demanda. El reactor RECH-1 opera un día a la semana. Es de origen		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	inglés y se opera desde 1974. Existe un proyecto para la producción de molibdeno-99 (que permitirá tener una fuente de tecnecio fresco). De esta forma, el uso del reactor aumentaría a 48 horas por semana. Este proyecto y el crecimiento de la demanda podría hacer que el uso del reactor llegue a 72 horas a la semana en el futuro.		
4.	JK indica que hasta inicio de la década de los 80, la CCHEN efectuó prospección minera del uranio. Se alcanzó a prospectar aproximadamente el 7% del territorio. En la actualidad, se ha retomado el tema, pero como apoyo analítico a terceros. Adicionalmente, en el reactor RECH-1 se irradian muestras geológicas de terceros (principalmente Sernageomin y un cliente de Colombia).		
5.	JK indica que el reactor RECH-2 es del tipo piscina (al igual que el RECH-1). Además, la temperatura promedio del agua de enfriamiento podría llegar hasta aproximadamente 46º C, por lo que no hay producción de vapor. Por este motivo, no puede ser utilizado para la generación de electricidad. JK indica que no podría ser modificado para este propósito.		
6.	Sin embargo, la CCHEN, a juicio de OD y JK, puede ser la entidad que forme a los técnicos y profesionales requeridos para un programa de núcleo electricidad, utilizando uno de los dos reactores experimentales como apoyo a la docencia y para entrenamiento. Sin perjuicio de lo anterior, indican que estudios más profundos deberían continuarse en el extranjero. En particular, en Argentina existe un buen nivel de docencia en temas nucleares, al igual que en Brasil.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
7.	JK y OD indican que si se desarrolla un Plan Nuclear en el país es conveniente que todas las centrales sean del mismo tipo, a fin de generar sinergias entre ellas. Estas sinergias se verían en diferentes ámbitos, por ejemplo: - Capacitación, incluso se podría compartir un único simulador. - El combustible sería el mismo para todas y su fabricación tendría una mayor escala. - Las mejoras realizadas podrían ser replicables en todas las centrales. Además, indican que un país que está comenzando un programa de núcleo electricidad debiera apoyarse bastante en las capacidades del proveedor (por ejemplo para el uso de simulador y la existencia de un reactor de referencia) y utilizar un reactor ya probado. De no ser así, se podría repetir lo ocurrido con la Central Atucha I en Argentina, que fue el primer desarrollo de Siemens de un reactor presurizado que utiliza agua pesada. Todos los problemas que surgieron debieron ser investigados en el propio reactor, y en ocasiones fue necesario dejar fuera de servicio la central. Por otro lado, el reactor Candu instalado en Argentina ha operado sin problemas, con un factor de disponibilidad que ha alcanzado el 98% y factor de carga anual del 80% en el 2008.		
8.	JK indica que el combustible utilizado se almacena en piscinas especialmente diseñadas. En los años 1996 y 2000, los elementos combustibles gastados del reactor RECH-1 fueron enviados a EEUU. Existe en el RECH-1 combustible gastado de origen Inglés que podría ser aceptado por los EE UU; sin embargo, el combustible de origen ruso, por ser de bajo enriquecimiento, tendrá que ser gestionado en el país.		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	Por ello, están desarrollando un proyecto regional del OIEA para el diseño y fabricación de contenedores para el almacenamiento en seco de elementos combustibles gastados. Este diseño está bastante avanzado, faltando principalmente la selección de los sellos y realizar simulaciones y pruebas a los baskets, a fin de analizar su respuesta ante caídas o volcamientos. Este proyecto es compartido con Brasil y Argentina, que están desarrollando contenedores para el transporte de combustible gastado. En este proyecto se ha recibido apoyo y asesoría en el tema de secado de combustible del Idaho National Laboratory en EE.UU. De esta manera, se resolverán los requerimientos de la gestión actual de los combustibles gastados de la CCHEN, hasta que se decida su destino final (reprocesamiento, confinamiento, etc.).		
9.	JK explica que para una central de potencia, el manejo de los combustibles gastados es similar. Lo que ha ocurrido en la práctica es que una vez completada la piscina de almacenamiento temporal de los elementos combustibles gastados se amplia (se construye otra) y en algún momento de la evolución de la central se pasa a almacenamiento en seco utilizando contenedores o silos (como el caso de la central argentina de Embalse). Incluso, el almacenamiento del combustible gastado de los reactores de investigación, bajo el punto de vista del control de la corrosión, es más complejo que en el caso de las centrales de potencia. Esto porque el material utilizado en el elemento combustible es en base a aluminio y debe ser completamente secado para su almacenamiento. Por lo tanto, los conocimientos y la experiencia obtenidos en este proyecto y en la gestión del combustible gastado son		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	perfectamente extrapolables para una central de potencia.		
10.	Tanto OD como JK consideran que un programa núcleo eléctrico requiere y recibirá apoyo internacional de manera directa, a través de acuerdo de colaboración, o a través del OIEA. Por ejemplo, en los temas de capacitación es posible continuar con el esquema actual en que la especialización se realiza en el extranjero (principalmente Argentina y Brasil), aunque podría aumentarse la cantidad de los cursos básicos que se desarrollan en Chile. Al respecto, la CCHEN firmó un convenio con la pontificia Universidad Católica de Valparaíso para la dictación de cursos de ingeniería nuclear en dicha universidad. Esta Universidad tiene la intención en el futuro cercano de desarrollar y ofrecer una maestría en Ingeniería Nuclear con el apoyo de la CCHEN. Por otra parte, desde hace tiempo se han mantenido buenas relaciones con EE.UU. y con Europa, los que permitirá aumentar esta colaboración internacional. Por ejemplo, España cuenta con un simulador que es utilizado para entrenamiento por el resto de la Unión Europea.		
11.	En línea con lo anterior, JK informa que en Argentina, INVAP y la CNEA tienen considerado el desarrollo de un prototipo del reactor modular CAREM con una capacidad de 25 MWe (con un costo de 100 millones de dólares).		
12.	A juicio de JK podría resultar más económico el uso de un repositorio geológico profundo, idealmente regional, que el reprocesamiento del combustible gastado. Esto debido a los altos costos del transporte del combustible gastado, del reprocesamiento en si y del retorno de los materiales obtenidos del proceso. Además, al reprocesar, aparte del uranio y plutonio recuperado, se obtiene un volumen importante (incluso		

	COMPROMISO, ACUERDO, INFORMACION	FECHA ENTREGA COMPROMISO	ENCARGADO COMPROMISO
	mayor al original) de material radioactivo vitrificado que debe ser almacenado. En todo caso, esta decisión puede ser pospuesta en el caso de Chile por varios años; mientras se opera una central sus elementos combustibles gastados pueden almacenarse en piscina y posteriormente en seco, ya sea en contenedores o en silos.		

ANEXO D

BIBLIOGRAFÍA

14. ANEXO D: BIBLIOGRAFÍA

14.1 Bibliografía referente al ciclo de combustible nuclear

1 Sizewell 'B' Public Inquiry CEGB Proof of Evidence P10. B V George
2 Sizewell 'B' Public Inquiry CEGB Statement of Case Section 16.
3 Sizewell 'B' Public Inquiry CEGB Proof of Evidence P12. B Edmondson
4 Sizewell 'B' Pre-Construction Safety Report Chapter 3 Section 3.3.2.6 SXB-IP-771001 Issue C
5 Sizewell 'B' Pre-Construction Safety Report Chapter 3 Section 3.3.2.7 SXB-IP-771001 Issue C
6 UKP-GW-GL-710 Rev 0 UK Compliance Document for AP1000 Design – Section B
7 Sizewell 'B' Pre-Construction Safety Report Chapter 13.
8 Sizewell 'B' Pre-Construction Safety Report Chapter 11 Section 2 SXB-IP-771001 Issue C
9 Sizewell 'B' Pre-Construction Safety Report Chapter 11 Section 3 SXB-IP-771001 Issue C
10 Sizewell 'B' Public Inquiry CEGB Statement of Case Section 27.
11 www.ukap1000application.com/PDFDocs/SSER/SSER%205-3_r1.pdf
12 Radiation Protection 127 //ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/127_en.pdf
13 www.ap1000.westinghouse.com AP1000 Brochure
14 www.ukap1000application.com/PDFDocs/SSER/SSER%204-2_r1.pdf
15 www.ukap1000application.com/PDFDocs/SSER/SSER%209-1_r1.pdf
16 www.ukap1000application.com/PDFDocs/SSER/SSER%2011-2_r1.pdf
17 www.ukap1000application.com/PDFDocs/SSER/SSER%2011-3_r1.pdf
18 www.ukap1000application.com/PDFDocs/SSER/SSER%2011-4_r1.pdf
19 Barré, B: Future of Energy in Enlarged Europe. Varsovie, October 2004.
20 USNRC Project Details: EPR_AREVA_DC 11/19/2008.
21 www.epr-reactor.co.uk Fundamental Safety Overview Volume 2 Chapter E: The Reactor Coolant System and Related Systems Sub-Chapter E3.
22 www.epr-reactor.co.uk EPR design Description Vol 1.
23 www.epr-reactor.co.uk Fundamental Safety Overview Volume 2 Chapter K: Discharge & Waste Sub-Chapter K3.
24 GE Hitachi Nuclear Energy ESBWR Design Control Document Tier 2 Chapter 5 Reactor Coolant System and Connected Systems 26A6642AR Revision 3 February 2007.

25 GE Hitachi Nuclear Energy ESBWR Design Control Document Tier 2 Chapter 12 Radiation Protection 26A6642BJ Revision 5 May 2008.
26 GE Hitachi Nuclear Energy ESBWR Design Control Document Tier 2 Chapter 11 Radioactive Waste Management 26A6642BH Revision 5 May 2008.
27 www.netfiles.uiuc.edu/mragheb
28 www.aecl.ca CANDU 6 Technical Summary
29 Anrrei, V & Daian, I Waste Minimisation Policy at the Romanian Nuclear Power Plant. WM '02 Conference, February 24 – 28, Tucson, AZ
30 INFO-0210/REV.12 Radioactive Release Data from Canadian Nuclear Generating Stations 1994 to 2003 CNSC January 2005.
31 IAEA STI/DOC/010/407 Heavy Water Reactor: Status and Projected Development 2002.
32 CEZ Nuclear Power Plant Temelín. Temelín Centre for Public Relations.
33 Nuclear Power Plant Temelín. Temelín Communnications Dept, Information Centre 1998.
34 www.nuclear.com/n-plants/index-seismic.html
35 www.IAEA.org 2nd Follow-up IAEA Mission in Relation to the Findings and Lessons Learned from the 16 July 2007 Earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP (Jan 2009).
36 EPRI-TR-016780 ALWR Plant Design Requirements (1999)
37 www.europeanutilityrequirements.org
38 European Utility Requirements (EUR) Volume 3 Assessment for AP1000. 13th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE13-50748, Beijing, China May 16 – 20, 2006.
39 http://www.world-nuclear.org/info/inf18.html
40 IAEA Technical Report Series No. 425 Country Nuclear Fuel Cycle Profiles 2005.
41 Proceedings of IAEA Meeting on the Management of Spent Fuel 19 - 22 June 2006 STI / PUB / 1295
42 GNB, Hollestraße 7A, Essen 45127, Germany
43 www.aecl.ca/Commercial/Services/Expertise/WMD.htm
44 www.holtecinternational.com/~holtecin/divisions/dry-storage-and-transportation-systems
45 Processing of Used Nuclear Fuel for Recycle. World Nuclear Association October 2008.
46 Factors determining the long term back end nuclear fuel cycle strategy and future nuclear systems. IAEA-TECDOC-1286 May 2002.
47 Mixed Oxide (MOX) Fuel. World Nuclear Association July 2008.
48 Plutonium. World Nuclear Association July 2008.
49 Thorium. World Nuclear Association July 2008.

50 Thorium fuel cycle – Potential benefits and challenges. IAEA-TECDOC-1450 May 2005.
51 Advancing the cause of fuel reliability Nuclear News June 2008.
52 The Challenge of Nuclear Fuel Reliability EPRI Journal Fall 2005.
53 Robust Fuel Program Technical Requirements for Nuclear Fuel Performance EPRI Palo Alto CA: 1999. TR-110689
54 EPRI Fuel Reliability Guidelines Frequently Asked Questions 2008.
55 Fuel R & D to Improve Fuel Reliability Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY Vol 43 No 9, p951-959 (2006).
56 www.gen-4.org
57 A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. GIF-002-00 December 2002.
58 GENIV International Forum 2007 Annual Report
59 Westinghouse AP1000 Design Control Document Chapter 4.
60 ABWR General description Chapter 6.
61 MHI Topical Report: MUAP-07008-NP, Rev :0. Mitsubishi Fuel Design Criteria and Methodology.
62 MIT-NFC-PR-082 High Performance Fuel Design for Next Generation PWR's: Final Report.
63 World Energy Outlook International Energy Agency OECD / IEA, Paris 2006.
64 Clean coal technology accelerating commercial and policy drivers for future coal industry advisory board IEA publications.
65 IEA Wind Annual Report.
66 The Economics of Nuclear Power WNA August 2008.
67 World Energy Outlook International Energy Agency OECD / IEA, Paris 2006
68 Projected Costs of Generating Electricity – update OECD / IEA NEA 2005
69 The Costs of Generating Electricity. Royal Academy of Engineering 2004.
70 www.wise-uranium.org/calc.html World Information Service on Energy – WISE uranium project calculator.
71 The Economics of the Nuclear Fuel Cycle OECD /NEA 1994
72 //ec.europa.eu/energy/strategies/2008/doc/2008_11_ser2/strategic_energy_review_wd_cos_performance.pdf COM (2008) 744 Commission of the European Communities
73 EUR 20198 External Costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport 2003.
74 IAEA Bulletin 49-2 Fuel for Thought March 2008
75 www.IAEA.org/NewsCenter/Focus/FuelCycle/key events.shtml
76 www.IAEA.org/About/Policy/MemberStates/index.html
77 The Economics of the Nuclear Fuel Cycle WNA Report 1994
78 Uranium Enrichment WNA Report February 2009.
79 IAEA Nuclear Fuel Cycle Information System www-nfcis.IAEA.org

80 IAEA INFCIRC/640 Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle: Expert Group Report submitted to the Director General of the International Atomic Energy Agency February 2005
81 The Nuclear Fuel Cycle From Ore to Waste. Edited by P. D. Wilson Oxford Science Publication
82 Oxide Fuels Complex Westinghouse
83 Manufacturing Nuclear Fuel BNFL 2003 – 04.
84 Two Step UO2 Production Process US Patent Application 20080025894.
85 Hu, T. A. and Lo, J. C. Independent Assessment to Continue Improvement: Implementing Statistical Process Control at the Hanford Site WHC-SA-2549-FP (1994).
86 //findarticles.com/p/articles/mi_m1154/is_n1_v77/ai_6900436
How the Baldrige winners did it. Donald C Bacon (1989).
87 Dietrich M., Drecker S., Güldner R. and Hoff A. Automation in Siemens Fuel Manufacturing: The Basis for Quality Improvement by Statistical Process Control (SPC). Topfuel '99, Avignon, France. 13 September 1999.
88 Ralf Güldner and Friedrich Burtak. Contribution of Advanced Technologies to Improved Nuclear Power Plant Operation. The Uranium Institute Twenty-Fourth Annual International Symposium 1999.
89 www.bechtelvitplant.com
90 The China Post. May 20, 2006. Institute of nuclear Energy Research makes breakthroughs in vitrification.
91 The Hindu. 15 May 2008. Plant to vitrify waste. R. Prasad.
92 www.japannuclear.com
93 www.nuclear.ru
94 Petitjean, V., Fillet, C., Boen, R., Vyer, C. and Flament, T. Development of Vitrification Process and Glass Formulation for Nuclear Waste Conditioning. WM'02 Conference February 24 – 28, 2002, Tucson, AZ
95 IAEA-TECDOC-1563 Spent Fuel and High Level Waste: Chemical Durability and Performance under Simulated Repository Conditions. October 2007.
96 http://www.IAEA.org/OurWork/ST/NE/NEFW/wts_geologicaldisposal.html
97 IAEA (2003) Scientific and technical basis for the geological disposal of radioactive wastes. IAEA Technical Report 413.
98 http://www.nea.fr/html/rwm/
99 NEA/OECD (2008) Moving forward with geological disposal of radioactive waste. NEA Report 6433.
100 IAEA (1998) Technical, institutional and economic factors important for developing an multinational radioactive waste repository. IAEA TECDOC-1021.
101 Milestones in the development of a national infrastructure for nuclear power; International Atomic Energy Agency; Vienna, 2007

14.2 Bibliografía referente a la legislación aplicable al ciclo de combustible nuclear

1 GC(49)/9. Fortalecimiento de la eficacia y aumento de la eficiencia del sistema de salvaguardias, incluida la aplicación de los protocolos adicionales, del 22 de Julio de 2005.

2 Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) Action Plan, adoptado el 13 de Diciembre de 2007.

3 Global Nuclear Energy Partnership Statement of Principles, del 16 de Septiembre de 2007.

4 IAEA Safeguards Glossary. Intenational Nuclear Verification Series No. 3, Edición 2001.

5 Manual de Derecho Nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica, edición 2006.

6 NPT/CONF.2005/18 Informe del Grupo de Expertos en enfoques multilaterales del ciclo del combustible nuclear, presentado al Director General del IAEA. 9 de Mayo de 2005, para.324.

7 NPT/CONF.2005/WP.15. Principios multilaterales del Comité Zangger sobre el suministro de materiales nucleares, 27 de abril de 2005.

8 INFCIRC/254/Rev.7/Part 2. Communications Received from Certain Member States Regarding Guidelines for Transfers of Nuclear-related Dual-use Equipment, Materials, Software and Related Technology del 20 de Marzo de 2006.

9 INFCIRC/254/Rev.9/Part 1. Communication Received from the Permanent Mission of Brazil regarding Certain Member States' Guidelines for the Export of Nuclear Material, Equipment and Technology, del 7 de Noviembre de 2007.

10 INFCIRC/539/Rev.3. Communication of 10 May 2005 received from the Government of Sweden on behalf of the participating Governments of the Nuclear Suppliers Group, del 30 de Mayo de 2005.

11 SCHMIDT, Frtiz. NPT Export Controls and the Zangger Committee, The Nonproliferation Review/Fall-Winter 2000.

12 VARGAS, Edmundo. Derecho Internacional Público, de acuerdo a las normas y prácticas que rigen en el siglo XXI, 1ª edición, 2007.

13 World Nuclear Association Report: Ensuring Security of Supply in the International Nuclear Fuel Cycle, del 12 de mayo de 2006.

INFORME FINAL

Roles del Estado y del Sector Privado en la Generación Núcleo-eléctrica: Experiencia Internacional Aplicable a Chile

Preparado para:

Comisión Nacional de Energía

Preparado por:

Universidad Adolfo Ibáñez
Avenida Diagonal Las Torres 2640
Peñalolén, Santiago, Chile

Y

SENES Consultants Limited
121 Granton Drive, Unit 12
Richmond Hill, Ontario
L4B 3N4

Diciembre 2008

Tabla de Contenidos

1 INTRODUCCIÓN 5

1.1 La industria nuclear en apoyo a un programa núcleo-eléctrico 5
1.1.1 El reactor mismo 5
1.1.2 El combustible nuclear 6
1.1.3 La planta de potencia 7
1.1.4 Edificio de contención 8
1.1.5 Recurso humano calificado 8
1.1.6 Servicios anexos 10
1.1.7 Disposición final de residuos radiactivos de alta actividad 10

1.2 Definición de tareas, derechos, riesgos y responsabilidades en un país con respecto al desarrollo núcleo-eléctrico. 12
1.2.1 La empresa dueña del reactor 12
1.2.2 El Gobierno local 15
1.2.3 La Comisión Nacional de Energía 17
1.2.4 Las Municipalidades locales donde se instale un posible reactor nuclear 17
1.2.5 El proveedor de los equipos nucleares 18

1.3 Desarrollo del Sistema Eléctrico Chileno 20
1.3.1 El sistema eléctrico chileno 20
1.3.2 Mercado eléctrico 21
1.3.3 Tipos de clientes 23
1.3.4 Desarrollo futuro del sistema 24

2 RESUMEN EXPERIENCIAS INTERNACIONALES 27

2.1 Tabla Resumen de Experiencias Internacionales 27

2.2 Comparación de Experiencias Internacionales por Tópico 59
2.2.1 Contribución Nuclear a la Matriz Energética 59
2.2.2 Marco Legal e Institucional 59
2.2.3 Seguridad del Abastecimiento de Combustible 60
2.2.4 Rol del Gobierno en la Industria Núcleo-eléctrica 60
2.2.5 Rol del Sector Privado en la Industria Núcleo-eléctrica 62
2.2.6 Requerimientos de Recursos Humanos 63
2.2.7 Seguridad y Protecciones 64
2.2.8 Regímenes de Seguridad Nuclear y de Radiación 64
2.2.9 Actitud hacia la Energía Nuclear 65
2.2.10 Gestión de Desechos Radioactivos 65

2.3 Evolución histórica por país 66
2.3.1 Reino Unido 66
2.3.2 República Checa 69
2.3.3 Suiza 71
2.3.4 España 75
2.3.5 Suecia 78

3 DESECHOS RADIOACTIVOS 81

3.1 Canadá 81
3.1.1 Contexto Energía Nuclear 81
3.1.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos 81
3.1.3 Políticas de Gestión de Residuos 83
3.1.4 Financiamiento 84
3.1.5 Autoridades Competentes 85

3.2 Estados Unidos *87*
3.2.1 Contexto de la Energía Nuclear 87
3.2.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos 87
3.2.3 Políticas de Manejo de Residuos 88
3.2.4 Financiamiento 91
3.2.5 Autoridades Competentes 92

3.3 Finlandia *92*
3.3.1 Contexto Energía Nuclear 92
3.3.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos 93
3.3.3 Políticas de Gestión de Residuos 93
3.3.4 Financiamiento 95
3.3.5 Autoridades Competentes 95

3.4 Francia *95*
3.4.1 Contexto Energía Nuclear 95
3.4.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos 96
3.4.3 Políticas de Gestión de Residuos 97
3.4.4 Financiamiento 99
3.4.5 Autoridades Competentes 99

3.5 Reino Unido *100*
3.5.1 Contexto de la Energía Nuclear 100
3.5.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos 100
3.5.3 Políticas de Manejo de Residuos 101
3.5.4 Financiamiento 102
3.5.5 Autoridades Competentes 103

3.6 República Checa *103*
3.6.1 Contexto de la Energía Nuclear 103
3.6.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos 104
3.6.3 Políticas de Gestión de Residuos 105
3.6.4 Financiamiento 106
3.6.5 Autoridades Competentes 106

3.7 Suiza *107*
3.7.1 Contexto de la Energía Nuclear 107
3.7.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos 107
3.7.3 Financiamiento 109
3.7.4 Autoridades Competentes 109

3.8 Corea del Sur *109*
3.8.1 Contexto de la Energía Nuclear 109
3.8.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos 110
3.8.3 Políticas de Manejo de Residuos 110
3.8.4 Financiamiento 112
3.8.5 Autoridades Competentes 112

3.9 España *113*
3.9.1 Contexto Energía Nuclear 113
3.9.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos 113
3.9.3 Políticas de Gestión de Residuos 114
3.9.4 Financiamiento 116
3.9.5 Autoridades Competentes 116

3.10 Suecia *117*
3.10.1 Contexto Energía Nuclear 117
3.10.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos 117
3.10.3 Políticas de Gestión de Residuos 118

3.10.4 Financiamiento 120
3.10.5 Autoridades Competentes 120

4 BARRERAS A LA ENTRADA DE PRIVADOS EN UN PROGRAMA NUCLEO-ELECTRICO 122

4.1 Compromiso Nacional a Largo Plazo 122

4.2 Ley de Seguro de Responsabilidad Civil 123

4.3 Potenciales Barreras Regulatorias 125

4.4 Riesgo de Nacionalización 125

4.5 Ejemplos de Éxitos y Fracasos Iníciales en la Eliminación de Barreras 126

5 SEGURIDAD Y SALUD EN PROGRAMAS NUCLEARES 127

5.1 Introducción 127

5.2 Salvaguardias y Seguridad Nuclear 127

5.3 Salud 129

5.4 Medio Ambiente 130

5.5 Programas de Calidad 131

6 LOS COMPROMISOS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE SALVAGUARDIAS DE PROLIFERACIÓN NUCLEAR Y PREVENCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A ACCIONES TERRORISTAS 132

6.1 Introducción 132

6.2 Responsabilidades de las partes al tratado 133

6.3 Acuerdos Internacionales 134

6.4 Protección contra actos terroristas 135

6.5 Bibliografía 137

7 MODELOS DE INTERACCIÓN CON AGENTES INTERNACIONALES 139

7.1 Introducción 139

7.2 Agencias internacionales 140
7.2.1 IAEA como agente controlador y fiscalizador: 140

7.3 IAEA como agente proveedor de información y recomendaciones: 140
7.3.1 Otras agencias internacionales: 141

7.4 Interacción entre países 141
7.4.1 Acuerdos bilaterales de cooperación: 142
7.4.2 Acuerdos de suministro de combustibles: 142
7.4.3 Permisos de exportación de suministros y tecnología: 142

7.5 Proveedores de equipos y suministros 143
7.5.1 Transferencia tecnológica, estudios y capacitación: 143
7.5.2 Apoyo en construcción de la planta y en la puesta en marcha de los equipos: 143
7.5.3 Apoyo en la operación y mantención de la planta: 144

7.6 Proveedores de combustible 144
7.6.1 Contratos de suministro: 144
7.6.2 Trazabilidad y conteo de combustible: 144

7.7 Proveedores de servicios de almacenamiento y disposición de los desechos radioactivos 145
7.7.1 Contratos de servicio de almacenamiento y disposición: 145
7.7.2 Trazabilidad y conteo de material radioactivo: 145

8 DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HUMANOS 146

8.1 Introducción 146

8.2 Factores para determinar la dotación de las plantas de generación núcleo-eléctrica 147

8.3 Dotación para plantas medianas y pequeñas 149
8.3.1 Estimación de dotación para nuevas plantas pequeñas y medianas 150
8.3.2 Canadá 152
8.3.3 España 155

8.4 Resumen 157

8.5 Referencias 157

9 MODELOS ALTERNATIVOS DE PARTICIPACION PÚBLICA – PRIVADA EN UN PROGRAMA NUCLEAR DE POTENCIA 159

9.1 Funciones normativas y regulatorias 159
9.1.1 Agencia reguladora nuclear 159
9.1.2 Agencia fiscalizadora nuclear 160
9.1.3 Entidad encargada del almacenamiento y gestión de desechos nucleares de larga vida media y alta actividad 160
9.1.4 Organización encargada del almacenamiento y gestión de desechos nucleares de vida media intermedia y media actividad 162
9.1.5 Legislación nuclear 163

9.2 Modelo alternativos de desarrollo de la energía nuclear 166
9.2.1 Modelo de propiedad del Estado en su totalidad 168
9.2.2 Modelo de propiedad privada en su totalidad 174
9.2.3 Modelo de propiedad mixta público-privado 178

9.3 Comparación de modelos alternativos de desarrollo de la energía nuclear 181

9.4 Posible modelo de desarrollo núcleo-eléctrico para Chile 185

9.5 Conclusiones 190

1 INTRODUCCIÓN

1.1 La industria nuclear en apoyo a un programa núcleo-eléctrico

La existencia de uno o más reactores nucleares para generar electricidad dentro de un país involucra un conjunto extenso de proveedores e instituciones responsables de diversos aspectos. A continuación se analizan a partir de las exigencias propias del reactor y su operación.

1.1.1 El reactor mismo

Un reactor nuclear es un dispositivo tecnológico de alta complejidad. Su diseño y fabricación de componentes es una tarea que requiere un conjunto de conocimientos avanzados en temas de: mecánica, resistencia de materiales, transferencia de calor, neutrónica (estudio del comportamiento de los neutrones en el núcleo), física nuclear, control automático, etc. Por lo anterior, son muy pocas las empresas a nivel mundial que se encuentran calificadas para diseñar y construir reactores nucleares.

Dentro de los elementos que se consideran en una central correspondientes al reactor, se debe incluir los siguientes componentes: la vasija con su tapa respectiva, en caso de ser necesario el presurizador y los intercambiadores de calor, bombas de circulación, válvulas de accionamiento automáticas, etc. En general todos estos elementos se encuentran en el interior del edificio de contención.

Debido a la elevada complejidad, en la gran mayoría de los países los reactores son adquiridos “llave en mano”, en particular las primeras unidades. En la medida que la industria del país adquiere experiencia y se llevan a cabo esfuerzos importantes de transferencia de tecnología, lentamente las empresas locales comienzan a proveer algún tipo de insumos y componentes menores a las centrales que se construyen con tecnología importada. En este sentido cabe destacar el caso de la central nuclear Embalse en Argentina, con un enorme esfuerzo de desarrollo y a un costo muy elevado, la industria argentina habría logrado aportar con cerca de un 30% a la construcción de la central. Países como

India, que tiene su propio programa nuclear con un elevado aporte de tecnología indígena son muy raros. Otro ejemplo interesante es España, donde a pesar de contar con reactores nucleares hace cerca de 45 años, a la fecha no han desarrollado su industria nacional para la construcción de sus propios reactores. De acuerdo con esto, se podría decir que el diseño y la construcción de reactores son realizados por muy pocas empresas, y es esperable que en un país como Chile las centrales nucleares sean adquiridas bajo la modalidad "llave en mano", incluso en varias décadas a futuro.

1.1.2 El combustible nuclear

Para poder contar con combustible para alimentar centrales de potencia es necesario dominar un conjunto extenso de pasos industriales. En primer lugar se encuentra el mineral de uranio que debe ser explotado de las minas. Los cuatro principales explotadores de mineral de uranio son Australia, Canadá, Kazajtán y Nigeria, que en conjunto aportan con un 66% del total mundial. Si bien en Chile se habría encontrado anomalías que indicarían la presencia de uranio en el territorio, en primer lugar el mineral encontrado a la fecha podría alcanzar para alimentar sólo a uno o a lo más a dos reactores de mediana potencia (900 MWe) y, en segundo lugar, se habría explorado sólo un 8% del territorio nacional, por lo cual esta cantidad y disponibilidad podría aumentar en forma significativa. Recientemente (año 2008) se autorizó en Chile la exploración de uranio por firmas privadas, motivo por el cual se instaló la empresa inglesa "U3O8" en nuestro país; sus primeras exploraciones preliminares dieron resultados positivos en la Región del Biobío, pero se debe continuar haciendo las exploraciones de detalle. Es de importancia notar que con lo avanzado de la industria minera en Chile, si se descubrieran yacimientos importantes de uranio, este mineral sería rápidamente puesto en exploración comercial. De acuerdo a la legislación actual, el Estado de Chile tiene la primera opción de compra, por lo cual sería dable esperar que en unos 10 años más se cuente con uranio chileno de concentración industrial (80% de pureza del mineral uranio sobre otros elementos), sin un esfuerzo tremendo para la capacidad industrial nacional. Pese a ello, la minería del uranio exige la

adopción de normas más estrictas que en el caso de minerales no radiactivos, las cuales se podrían adaptar de normas existentes en otros países (Canadá y Australia serían los primeros candidatos para ello).

La fabricación de combustible Nuclear exige niveles de pureza extremadamente elevados (99,99%), los cuales son posibles de lograr en instalaciones de purificación que en Chile a la fecha no existen (la CCHEN lo habría logrado a fines de los años ´80 en sus instalaciones de Lo Aguirre, pero a escala piloto). Es de importancia notar que los pasos siguientes en la obtención de combustible nuclear exigen la conversión a otras formas químicas del uranio (UF6 ó UO2 por ejemplo), capacidad que a la fecha no existe en Chile. Tampoco existe la capacidad de enriquecer uranio en el país, proceso caro, complejo y que se justifica para un programa de centrales de potencia extenso. La fabricación de los elementos combustibles es un proceso industrial de mediana complejidad, donde lo más complejo es la elaboración de aleaciones de zirconio para las vainas de los elementos combustibles, y la fabricación de tales vainas con elevados grados de precisión. Una fábrica de elementos combustibles, por lo complejo del proceso y lo caro de las instalaciones, se justifica sólo en caso de un programa nuclear de envergadura, lo cual no sería el caso de Chile en el mediano plazo.

De acuerdo a lo anterior, en un país como Chile, lo más probable es que en caso de contarse con uno o dos reactores de potencia, el mineral de uranio sea explotado en Chile, reexportado para su procesamiento, posible enriquecimiento y fabricación de elementos combustibles en el extranjero. Se importaría en el mediano plazo elementos combustibles completos para ser empleados en los reactores. Tal vez en el largo plazo se logre desarrollar la capacidad de fabricar los elementos combustibles en el país, en base a uranio enriquecido en el extranjero si ese fuera el caso.

1.1.3 La planta de potencia

En un reactor de potencia la planta generadora es de tipo semi convencional. Las diferencias más importantes con respecto a la planta de vapor de una central que emplea combustibles fósiles serían: tamaño de la turbina y del generador, ya

que las centrales nucleares tienden a tener una potencia instalada mayor; turbinas diseñadas para trabajar con vapor saturado y no sobrecalentado como en las plantas de combustibles fósiles; en el caso de los reactores BWR la planta de vapor opera con vapor levemente radiactivo, por lo cual la instalación debe tener características contractivas y blindajes a la radiación especiales. A nivel mundial son casi las mismas empresas que fabrican reactores las que fabrican las plantas a vapor, por lo que es poco usual que el reactor sea de un fabricante y la planta a vapor de un segundo. Por su complejidad, ninguno de estos equipos se fabrica en Chile y es muy poco probable que en el largo plazo se llegue a fabricar éstos. Casi con certeza la planta de vapor será del mismo fabricante del reactor, lo único que podría ser de un tercer proveedor es el generador eléctrico mismo, todo lo cual sería importado por un país como el nuestro.

1.1.4 Edificio de contención

La estructura que rodea al sistema de suministro de vapor nuclear (reactor y periféricos) es el edificio de contención. Este edificio es construido de concreto reforzado pretensado, y por su envergadura exige un significativo esfuerzo de obras civiles. El diseño del edificio de contención depende de la planta nuclear y sus equipos, por lo cual el diseño normalmente es realizado por empresas extranjeras especializadas. Por otro lado, dada la enorme experiencia de las empresas nacionales de obras civiles, reforzadas para resistir sismos de envergadura, el trabajo mismo de erección de la estructura sería hecho por contratistas locales. Teniendo esto en cuenta, el resto de las obras civiles de la planta nuclear, dentro de lo cual se incluye la piscina de enfriamiento del combustible agotado, serían también efectuadas por contratistas locales.

1.1.5 Recurso humano calificado

Una central nuclear de potencia construida tiene requerimientos de personal más exigentes en términos de personal que una central en base a combustibles fósiles. Los operadores del reactor deben ser calificados en energía nuclear, entrenados por el fabricante y certificados por el organismo regulador para operar cada central nuclear en forma específica. Esto da lugar a dos tipos de exigencias.

En primer lugar educación en ingeniería nuclear a nivel de post grado para ingenieros graduados en ingeniería eléctrica e ingeniería mecánica, para que se desempeñen como ingenieros de operación de la central, lo cual se debe impartir en una universidad calificada para ello. En segundo lugar capacitación y entrenamiento en la operación de la central en forma específica, a ser impartido por el fabricante de la central, que incluye tanto a los ingenieros de operación como a los técnicos de operación, quienes también deben recibir educación formal en ingeniería nuclear, pero no al nivel avanzado de los ingenieros. Este grupo de técnicos e ingenieros serán quienes constituirán los turnos de operación de cada central.

Un segundo grupo de personal que debe ser calificado en ingeniería nuclear lo constituyen los mantenedores. Aquí se debe educar ingenieros y técnicos en ingeniería nuclear, radio protección, y en el mantenimiento y operación específica de los componentes de la planta nuclear. Los ingenieros deben ser sometidos a educación de post grado en ingeniería nuclear y los técnicos a especialización en equipos nucleares y radio protección. Esto requiere del suministro de educación de post grado en ingeniería nuclear, como de educación técnica en la misma disciplina. Tal como los operadores, los responsables del mantenimiento deben ser entrenados por el fabricante de los equipos, y certificados por el organismo regulador nuclear del país. Un reducido número de físicos (a lo más dos) podrían ser requeridos en cada reactor, pero ello dependerá de las recomendaciones de personal que haga el fabricante y las exigencias que establezca el organismo regulador nuclear nacional.

Un tercer grupo de personal podría ser el responsable de llevar a cabo el recambio del combustible del interior del reactor, encargados además de velar por su almacenamiento temporal y seguro en la piscina de enfriamiento del reactor. Este personal podría tener sólo el grado de técnico, especializado en el manejo de combustible, con educación formal en ingeniería nuclear y protección radiológica.

En una instalación con más de un reactor hay economías de escala respecto a personal, ya que la mantención de las instalaciones nucleares y el recambio de

combustible se programa en instantes diferentes, lo que facilita el uso de personal especializado en funciones específicas en más de un reactor.

1.1.6 Servicios anexos

Como toda instalación nuclear las centrales de potencia requieren de un conjunto de servicios técnicos complementarios a las actividades propias que lleva a cabo el personal de la central. Dentro de estas actividades se encuentra el transporte de elementos combustibles nuevos ya sea desde el aeropuerto o el puerto al sitio de la central nuclear. Este transporte debe ser efectuado por conductores que tenga al menos una capacitación básica en protección radiológica y seguridad nuclear. Será necesario entonces el establecimiento de contratos de servicios de transporte con proveedores de la más alta calificación a nivel nacional.

En relación a servicios relacionados con aspectos de protección radiológica, habría que subcontratar los servicios de la CCHEN cuando sea necesario llevar a cabo análisis de muestras oficiales para efectos regulatorios, ya que a nivel nacional son la autoridad oficial en tal respecto.

En la actualidad, por motivos legales, en Chile las instalaciones nucleares deben ser custodiadas por personal del Ejército. Esto requerirá la contratación de tales servicios a la Comandancia de Guarnición respectiva, correspondiente al sitio donde se instale el reactor. Asimismo, se deberá contar con las instalaciones para el alojamiento del personal militar responsable de la custodia del reactor. Esto debiera incluir alojamiento, aseo personal, almacenamiento de armas, alimentación y esparcimiento, estacionamiento de vehículos, etc.

1.1.7 Disposición final de residuos radiactivos de alta actividad

En la operación de toda instalación nuclear, por diversos motivos se genera una cantidad menor de material radiactivo, el cual se clasifica en función de su actividad nuclear (alta, media, baja) y la energía de la radiación emitida, lo que determina la intensidad de la fuente, y por otro lado la vida media de su proceso de decaimiento (cuanto tiempo demora una cierta cantidad de material radiactivo

en alcanzar 1/2 de su concentración inicial). Una pequeña parte de este material radiactivo de alta intensidad de fuente y larga vida media requiere ser almacenado en forma segura en espera de que logre llegar a niveles compatibles con su disposición final al ambiente (depósitos de basura común por ejemplo). Este material se almacena temporalmente en el mismo sitio del reactor, pero al término de la vida útil de la central debe ser sometido a un almacenamiento controlado de largo plazo. Esto último se tiene contemplado que ocurra en un repositorio de material nuclear administrado por el Estado correspondiente. Algo totalmente similar ocurre con los elementos combustibles que son retirados del reactor después de haber entregado su energía (denominados comúnmente como elementos "quemados"). Estos elementos deben ser almacenados en la piscina de enfriamiento de la central hasta su decomisionamiento y cierre definitivo, momento en el cual típicamente deben ser traspasados a la autoridad central de un país para su disposición final en el repositorio de largo plazo.

Tanto la construcción del repositorio permanente como la custodia de los materiales radiactivos que allí sean almacenados a futuro requiere de financiamiento. Estos recursos económicos deben ser aportados por los operadores de la central respectiva, motivo por el cual a los usuarios de la energía eléctrica generada por plantas nucleares, que se benefician de energía más barata que si fuera producida por centrales que queman combustibles fósiles, se les cobra en la cuenta de la energía eléctrica una cantidad marginal adicional que se ahorra para cuando llegue el momento de almacenar los elementos quemados y decomisionar la central nuclear.

1.2 Definición de tareas, derechos, riesgos y responsabilidades en un país con respecto al desarrollo núcleo-eléctrico.

Todo país que se embarca en un programa nuclear obliga a diferentes actores e instituciones a asumir tareas, riesgos y responsabilidades. A continuación se analizan estas a partir del elemento central que es el reactor generador de energía nuclear.

1.2.1 La empresa dueña del reactor

En un sistema de libre mercado como el chileno, la responsabilidad legal, y en ciertos casos penales, por los efectos causados a las personas y el medioambiente por aquellos bienes de propiedad privada, son de la total responsabilidad del propietario del bien causante del daño. En el caso de una central nuclear, esto quiere decir que si resultado de la posesión de una instalación nuclear o de la operación de la misma, alguien o algo de propiedad de otro resulta con daños, la responsabilidad legal por los hechos y sus consecuencias recae enteramente en la organización propietaria de tal instalación nuclear. En el caso de eventos causantes de muerte de afectados por la instalación, incluso se puede perseguir la responsabilidad penal, la que no tiene por que recaer en los propietarios de la instalación, sino en quienes resulten responsable ante el sistema legal. Toda responsabilidad ya sea legal o penal, debe ser adecuadamente establecida por el sistema judicial, y las reparaciones por daños y perjuicios en caso que correspondan, determinados por el mismo sistema legal,

Por los importantes efectos que un evento ocurrido en una central nuclear puede acarrear a las personas y al medioambiente, ciertos Estados han establecido la obligatoriedad de contratar seguros objeto precaver el pago a los damnificados en caso de ocurrencia de eventos nucleares perjudiciales. Por otro lado, en casos realmente extremos, los efectos que se pueden causar por un accidente exceden por mucho la capacidad de reparación que un seguro, y las empresas aseguradoras detrás de él, pueda cubrir. Por este último motivo, ciertos

Gobiernos han establecido límites a las responsabilidades que se deba pagar por el seguro contra accidentes catastróficos, de otro modo, las primas a pagar por los dueños de las centrales harían inviable cualquier interés por construir y operar instalaciones nucleares de potencia. En el caso de Chile, la Ley de Seguridad Nuclear N ° 18.302 establece un límite máximo de US$75 millones reajustados como monto máximo a pagar por indemnizaciones por daño nuclear, monto que se considera muy bajo para el caso de centrales nucleares de potencia. En aquellos casos en los que el propietario de la central es el mismo Estado, el Gobierno contrata a su costo los seguros correspondientes.

Desde un punto de vista de los riesgos en que incurre el propietario de una central, se puede señalar que en caso de accidentes o eventos fortuitos que dejen la instalación nuclear fuera de operación, por cualquier motivo que no pueda ser considerado “fuerza mayor”, los costos y pérdidas son de la total responsabilidad del dueño de la instalación. En un mercado eléctrico como el chileno esto redundaría en costos que deberá solventar el propietario para cubrir la energía eléctrica comprometida por contrato a terceros (si la hubiera). En tal caso el dueño de la central deberá comprar electricidad a otro proveedor objeto dar cumplimiento a sus compromisos de suministro. En forma adicional, y dependiendo del siniestro y los seguros comprometidos, la pérdida de la instalación y sus partes componentes debe ser asumida en su totalidad por el propietario. Asimismo, si como resultado de un accidente y por resolución judicial la central debiera ser cerrada y desmantelada, los costos de esto serán de exclusiva responsabilidad del dueño de la central nuclear. El detalle de todos estos aspectos debe ser establecido en la legislación y normativa que regule la instalación de centrales nucleares para generar electricidad, motivo por el cual cada país tendrá una asignación de responsabilidades un tanto diferente.

El dueño de la central deberá asegurar la existencia de personal de operación y mantenimiento en cantidad y calidad suficiente para la operación segura de las instalaciones. Para ello deberá dar cumplimiento a la normativa que al respecto establezca el ente regulador local. En el caso de EE.UU., la cantidad

de personas por turno después del accidente de Three Mile Island se debió triplicar, objeto mejorar la seguridad de las instalaciones. Todo el personal que opera y mantiene la central deberá encontrarse con su certificación al día, la cual es entregada por el organismo regulador. En caso de que ello no sea así, la central podría ser detenida y el propietario de la misma multado, hasta la regularización de la situación de certificación de los operadores.

Será responsabilidad del operador de la central mantener programas de aseguramiento de calidad para todas sus actividades, así también registros actualizados de las operaciones de mantenimiento y reparación a la cual sean sometidos todos los equipos de la central. En cuanto al combustible agotado y los desechos nucleares que sean mantenidos en el sitio de la central, el operador deberá mantener los inventarios al día y el material resguardado física y radiológicamente, objeto no transformarse en una fuente potencial de peligro para los operarios y el público en general. Para esto último deberá dar cumplimiento a la normativa que establezca el ente regulador local. Toda la documentación relativa a la central, los equipos, los elementos combustibles, los materiales radiactivos, etc. deberá estar al día y accesible para que el organismo regulador pueda supervisar la gestión de la central en todo momento.

En caso que así el ente regulador lo establezca, se le podrá exigir a la operadora de la central que dentro de sus instalaciones se establezca la presencia de un inspector permanente, el cual velará por el cumplimiento por parte de la operadora de toda la normativa y procedimientos establecidos por el ente regulador.

La empresa operadora de la central deberá contratar a su propio costo los servicios de una empresa fabricante de elementos combustibles, con el propósito de asegurar el suministro de combustible nuclear. Este contrato deberá ser a largo plazo y avalado por las autoridades de gobierno competentes en materia de comercio internacional y de verificación de acuerdos de salvaguardias internacionales en términos de manejo y compra-venta de material nuclear. Por su parte, la empresa proveedora del combustible nuclear deberá contar con la

correspondiente autorización de su gobierno para la exportación y comercialización del mencionado material nuclear. Todas las transacciones de combustible nuclear y materiales controlados deben llevarse a cabo dando cumplimiento a la legislación y tratados internacionales relativos a la transferencia de elementos y compuestos de carácter nuclear.

Además de las obligaciones relacionadas con el ámbito nuclear mencionadas, la operadora de la central nuclear deberá dar cumplimiento a todas las obligaciones adquiridas en calidad de entidad generadora de electricidad.

1.2.2 El Gobierno local

Con el propósito de asegurar la viabilidad económica de las inversiones en centrales nucleares, el gobierno deberá promulgar la legislación y normativa técnica que regule la instalación y operación de centrales nucleares dentro del territorio nacional. Debido a que la vida operativa actual de los reactores de última generación se estima en 60 años y que la construcción de un reactor nuclear puede llegar a demorar entre 8 y 10 años, la legislación y normativa que se establezca debe ser lo suficientemente depurada de modo que no requiera ser modificada ni rectificada a futuro, estableciendo un marco regulatorio lo suficientemente estable como para que el negocio de generación nuclear sea rentable. Si los potenciales inversionistas en una o más centrales nucleares perciben que la legislación y la normativa existente no les asegura la rentabilidad en el largo plazo, las inversiones y las centrales simplemente no se materializarán.

La Ley Nº16.319, que crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear, establece que “La producción de energía nuclear con fines pacíficos sólo podrá realizarse por la Comisión o con su Licencia previa. La Comisión podrá realizar dicha producción por sí o por medio o en unión de terceros.” Por lo tanto, en la actualidad sólo la CCHEN tendría la potestad de producir energía nuclear, lo que podría hacer mediante la unión con terceros. Si esta Ley no se cambia o modifica, establece limitaciones a la propiedad de las centrales nucleares que podría reducir el interés de potenciales inversionistas privados. Además, como actualmente la CCHEN cumple las funciones de ente regulador en materias nucleares, se

convertiría en juez y parte en cuanto a la generación y el control de las actividades, lo que indudablemente debiera ser corregido.

Antes de cualquier llamada a propuesta por la instalación de una o más centrales nucleares el gobierno deberá asegurar que toda la legislación y normativa nuclear se encuentra aprobada y vigente. Por ser una materia sensible a la opinión pública, la aprobación de las leyes y normativa relativas al ámbito nuclear tomarán un tiempo prolongado, motivo por el cual será necesaria la tramitación lo más temprano posible de las propuestas de ley en el Congreso, de modo de evitar que prolongadas discusiones legislativas impidan contar con las leyes y reglamento en forma temprana o al menos oportuna, para que se permita la consideración de inversiones en centrales nucleares de potencia.

La organización que regule y controle la actividad nuclear en el país debe ser dotada de las herramientas legales y recursos humanos en calidad y cantidad para el cumplimiento de sus funciones. La dotación y estructura organizacional actual de la CCHEN se estiman como insuficientes para responder a las necesidades y requerimientos de lo que demandaría en términos de control y supervisión en caso de establecerse uno o más reactores de potencia en el país.

En el muy largo plazo, en el general, el Estado debería velar que la disposición de los residuos nucleares sea llevada a cabo de la manera más segura posible, objeto proteger la seguridad de las personas y del medioambiente. Es importancia contemplar la construcción de un repositorio de alta profundidad. El costo de este repositorio deberá a su vez ser financiado por las empresas operadoras de las centrales nucleares, las que a su vez deberán obtener los fondos para ello a partir del cobro adicional que hagan a los clientes favorecidos con la energía eléctrica más barata producida en base a energía nuclear. La ubicación y construcción de este repositorio puede ser materia de legislación, tal como ocurrió en Finlandia que ya tendría uno en etapa de proyecto de construcción.

1.2.3 La Comisión Nacional de Energía

Por tratarse de la organización gubernamental encargada de velar por la planificación de la capacidad energética del país, la CNE establece un plan indicativo de obras de generación y transmisión, incluyendo las potenciales centrales a combustible nuclear. Este plan es luego utilizado para el cálculo de precio de nudo, que es usado en el intercambio de energía y potencia entre generadores y clientes regulados. Es de importancia notar que en un sistema como el chileno, en que las decisiones de inversión en generación están en manos de privados, la comisión solamente puede establecer su mejor estimación sobre el plan de obras, pero no está facultada para fijar fechas de puesta en servicio, ni particularidades de proyectos de generación, ni de transmisión.

1.2.4 Las Municipalidades locales donde se instale un posible reactor nuclear

Teniendo en consideración que la instalación de una central nuclear de potencia en algún lugar del país causaría un impacto significativo en las actividades económicas, técnicas y ambientales, las municipalidades de aquellos lugares donde se proponga la posible instalación de uno o más reactores nucleares deben ser preparadas para ello. Como los reactores no se instalan en las inmediaciones de grandes ciudades, muy posiblemente sean instalados en localidades rurales más bien sub desarrolladas en términos de infraestructura y desarrollo económico y social. Por tales motivos la instalación de la central deberá ser llevada a cabo teniendo en consideración el mejoramiento de la infraestructura local, el fortalecimiento de la capacidad de gestión de las respectivas municipalidades y apoyo importante a las necesidades de los habitantes de las inmediaciones de la instalación. Un ejemplo excelente de la cooperación entre los operadores y dueños de las centrales nucleares, y la comunidad local donde tales plantas se instalan lo constituye Francia, que en la década de los años 80 desarrolló toda una metodología para apoyar a lo municipios para mejorar la aceptación de la instalación de la central y mejorar simultáneamente la infraestructura y condiciones de la comunidad. Un ejemplo de cómo no se debiera hacer es el caso de la central nuclear de Laguna Verde en México, donde después

de más de 15 años de la instalación de los dos reactores, todavía persisten las desavenencias entre la empresa estatal operadora de la central y la comunidad cercana a la misma. Para lograr una adecuada integración de la central a su entorno social, dentro del proyecto de instalación de la central nuclear se debe contemplar las inversiones sociales en el lugar objeto solucionar los posibles problemas que esto acarrearía a la comunidad circundante, como también, en base a beneficios para los habitantes de la zona, permitir contrarrestar los posibles actos de oposición a la instalación de la misma. Importantes esfuerzos de relaciones públicas deben ser desplegados para facilitar la aceptación de la central por parte de la comunidad local, esfuerzo que debe ser compartido entre el Gobierno, los dueños de la central y el municipio local. Se debe lograr llegar a una situación de gana-gana entre la comunidad y los dueños de la central, y no a uno de suma-cero.

1.2.5 El proveedor de los equipos nucleares

Aquella empresa a la cual se le adjudique el contrato de suministro de la central nuclear deberá asegurar por parte del gobierno del país respectivo las autorizaciones de exportación y de transferencia de tecnología nuclear. Deberá estar dispuesta a cooperar con la empresa propietaria de la central a la entrega de la mayor cantidad de información, objeto se ejecute el proyecto de construcción, instalación y pruebas de la manera más expedita, segura y económica. Deberá cooperar asimismo con las empresas responsables de las obras civiles objeto la erección de la central y la instalación de los equipos sea ejecutada de la manera más segura, expedita y económica. Asimismo, deberá capacitar y entrenar a los futuros operadores y mantenedores de la central. Teniendo en consideración que las empresas proveedoras de reactores de potencia tienen experiencia de muchos años en estas actividades, no debiera ser complejo ni caro asegurar lo arriba indicado, más aún si se considera que las centrales que se podrían construir en Chile por muchos años lo serán bajo la modalidad de “llave en mano”. Este tipo de contrato genera un mínimo de interferencia a los proveedores de equipos, ya que no se obliga a la inclusión de empresas locales de poca experiencia y

capacidad a participar como proveedores. Por otro lado, si la participación de ingenieros y técnicos locales en el proyecto de diseño, construcción e instalación se minimiza, el aprendizaje se vería menoscabado lo que a su vez podría afectar el futuro desempeño de la central durante la fase de explotación. Por lo tanto, se debe asegurar una participación de ingenieros y técnicos locales en calidad de "observadores" o "personal en entrenamiento" durante todas las fases del proyecto.

Un aspecto de vital importancia es la provisión de servicios de apoyo, repuestos y servicio técnico durante la vida útil de la central, lo cual debe quedar claramente estipulado en el contrato de suministro. Sería inaceptable que un proveedor se desentienda después de algunos años de los equipos suministrados y los servicios de apoyo necesarios para una segura y económica operación de la o las centrales de potencia.

Teniendo en cuenta la conveniencia de que los reactores dentro de un sistema de generación eléctrico sean lo más estandarizados posibles, sería de una muy alta conveniencia que los posibles reactores que se construyan en Chile correspondan a unidades de tipo estandarizadas y que no sean un nuevo diseño particular y específico para Chile. El que los reactores obedezcan a una línea estandarizada y probada reducirá el riesgo técnico y económico, mejorando las expectativas económicas y de seguridad de la instalación nuclear.

1.3 Desarrollo del Sistema Eléctrico Chileno

El desarrollo del sector energético siempre ha sido un tema prioritario para el país: el desafío que plantea la expansión proyectada de nuestro consumo eléctrico, exige analizar todas las opciones posibles para determinar de forma fundamentada una planificación futura segura, eficiente y sustentable.

Dentro de esta investigación se debe entender que la energía nuclear es una opción particularmente sensible, lo que exige primero, un entendimiento acabado de la realidad eléctrica del país.

1.3.1 El sistema eléctrico chileno

En la actualidad Chile cuenta con una potencia instalada de 12.700 MW distribuida en cuatros sistemas eléctricos independientes a lo largo de todo el país: el sistema interconectado del norte grande (SING), el sistema interconectado central (SIC), el sistema aislado de Aysén y el sistema aislado de Magallanes:

- **El sistema del norte grande (SING)**: es el segundo sistema más grande del país, abarca la zona norte entre las ciudades de Arica y Antofagasta, tiene una extensión de 3.600 Km correspondiente al 24,5% de territorio nacional y cuenta con 3.600 MW (28,3%) de la potencia total instalada.
- Es un sistema caracterizado por una alta participación de generadores térmicos a partir de gas natural petróleo y sus derivados, o carbón. Cuenta con grandes centros de consumo industriales provenientes de la minería, cuya demanda es relativamente estable a través del tiempo a diferencia de los otros sistemas.
- **El sistema interconectado central (SIC)**: es el sistema eléctrico más grande del país, se extiende desde la ciudad de Taltal hasta la isla de Chiloé, cuenta con más de 8.600 MW instalados y provee energía a más del 90% del consumo residencial del país. A diferencia del SING, es un sistema donde predomina la generación hidráulica lo que hace su generación, y por ende sus precios, volátiles y dependientes de las condiciones hidrológicas de esta zona del país.

- El consumo es principalmente residencial (60% regulado) lo que implica una demanda bastante menos estable en comportamiento que la del SING.
- **El sistema aislado de Aysén**: es el sistema más pequeño del país, abastece exclusivamente a la Región de Aysén, cuenta poco más de 33MW para atender aproximadamente a 20.000 clientes. La composición de la generación es principalmente térmica, pero se destaca por ser el primer sistema en poseer generación eólica.
- **El sistema aislado de Magallanes**: es un sistema compuesto por tres subsistemas: el de Punta Arenas, Puerto Natales y Puerto Porvenir. Estos subsistemas abastece a la Región de Magallanes atendiendo a cerca de 100.000 clientes. Su generación es completamente térmica con poco más de 64MW de potencia instalados.

La potencia de cada sistema es administrada por el Centro de Despacho Económico de Carga respectivo, estos tienen como responsabilidad coordinar la generación para satisfacer la demanda del sistema correspondiente, al mínimo costo.

1.3.2 Mercado eléctrico

El mercado eléctrico de Chile, es un mercado privado, donde la asignación de recursos es responsabilidad de estos. En el suministro de energía, el mercado está dividido en tres sectores claramente diferenciados:

Transmisión

Corresponde al conjunto de 5 empresas privadas, propietarias de las líneas (sobre 23.000 V), subestaciones y equipos que permiten transmitir la energía desde los puntos de generación a los centros de consumo o distribución. Las ganancias se generan se asocia al pago de un peaje por la distancia que la energía es transportada.

Distribución

Corresponde al conjunto de 34 empresas privadas propietarias de líneas, equipos y subestaciones. Son los encargados de abastecer a los clientes finales dentro de un espacio delimitado, deben licitar, a los generadores, el suministro correspondiente para satisfacer la demanda de sus clientes. A diferencia del mercado de la generación, este es regulado por lo que sus precios son establecidos.

Generación

Corresponde al conjunto de 31 empresas privadas que son propietarias de centrales generadoras. Es un sector competitivo donde el precio de la energía refleja los costos marginales de generación y el precio de la potencia en periodo de máxima demanda.

De acuerdo a lo publicado por el anuario1 de la Comisión Nacional de Energía, en la actualidad la generación en Chile proviene sólo de cuatro tipos de combustibles, petróleo, gas natural, carbón y biomasa, además de dos recursos naturales, el agua y el aire.

Tabla 1.1 Capacidad instalada total

CAPACIDAD INSTALADA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SEGÚN TIPO DE CENTRAL Y ENERGÉTICO
A JULIO 2007
(cifras en MW)

ENERGÉTICO TIPO DE CENTRAL	SING	SIC	SISTEMA AYSEN	SISTEMA MAGALLANES	TOTAL
HIDRÁULICAS	**12,8**	**4.801,8**	**17,6**	**0,0**	**4.832,2**
EMBALSE	0,0	3.443,4	0,0	0,0	**3.443,4**
PASADA	12,8	1.358,4	17,6	0,0	**1.388,8**
TÉRMICAS	**3.589,1**	**4.239,9**	**13,9**	**64,7**	**7.907,5**
CARBÓN	1.205,6	837,7	0,0	0,0	**2.043,3**
GAS NATURAL	2.111,7	2.565,9	0,0	54,9	**4.732,5**
PETRÓLEO [2]	271,8	645,4	13,9	9,8	**940,8**
BIOMASA [3]	0,0	190,9	0,0	0,0	**190,9**
EÓLICAS	**0,0**	**0,0**	**2,0**	**0,0**	**2,0**
TOTAL	**3.601,9**	**9.041,6**	**33,5**	**64,7**	**12.741,7**

Fuente: CNE.

[1] Anuario CNE actualizado a Julio del 2007. Véase http://www.cne.cl/estadisticas/anuario/electricidad/php_electricidad-01.php

La energía de las empresas generadoras puede ser comercializada básicamente de tres formas: mediante contratos privados, mediantes contratos con clientes regulados y mediante transacciones en el mercado spot.

- **Contrato privado**: es producto de un acuerdo entre entidades privadas de generación y consumo, donde el pago de potencia y/o energía se hace de acuerdo a las condiciones establecidas por ambos.
- **Contrato con clientes regulados**: es un acuerdo donde alguna empresa generadora se compromete a proveer a un grupo de clientes regulados, cuya tarificación se realiza de acuerdo al cálculo de precio nudo realizado cada seis meses por la CNE.
- **Compra en mercado spot**: es una comercialización utilizada por empresas generadoras cuya producción no ha sido contratada, es remunerada por los consumidores finales de acuerdo al costo marginal de generación del sistema en el cual se está generando.

1.3.3 Tipos de clientes

Desde el punto de vista del consumo, el mercado puede ser dividido de acuerdo a tres sectores.

- **Clientes regulados**: corresponde a los clientes cuya conexión al sistema es por una potencia menor 2.000 kW. Se trata por lo general de clientes residenciales a los cuales la Comisión Nacional de Energía les regula la tarifa de acuerdo con el precio nudo, calculado en base a los costos marginales y de potencia.
- **Clientes libres:** corresponde a los clientes cuya conexión al sistema es por una potencia mayor a 2.000 kW. Tienen la libertar de negociar directamente con las empresas generadoras del sistema correspondiente y de firmar contratos privados.
- **Clientes con derecho a elección**: corresponde a los clientes con una conexión al sistema que va entre los 500kW y los 2.000kW de potencia de acuerdo con la Ley General de Servicio Eléctricos por la ley 19.940, vigente

desde Marzo del 2004. Deben realizar una elección por al menos cuatro años salvo excepciones establecidas por la CNE.

1.3.4 Desarrollo futuro del sistema

En las últimas décadas, Chile ha experimentado un aumento sostenido en la demanda energética eléctrica a una tasa promedio anual del orden de 7%. En términos generales, el crecimiento de la demanda ha estado por encima de la tasa de crecimiento de la economía, exigiendo al país importantes inversiones en generación eléctrica. De acuerdo a estas tasas, el país ha debido duplicar su capacidad de suministro eléctrico aproximadamente cada 10 años.

Se estima que la demanda máxima de potencia eléctrica del SIC proyectada dentro de 10 años (12.500 MW) duplicará la demanda máxima de potencia eléctrica que hubo el año 2007 (6.250 MW), y la capacidad instalada debería aumentar de los 8.964 MW existentes en el año 2007 a aproximadamente 15.000 MW en el año 2017, es decir, se proyecta un incremento de 6.000 MW en la capacidad instalada.

En el SING se observa que la demanda máxima de potencia eléctrica proyectada dentro de 10 años (3.200 MW) prácticamente duplicará la demanda máxima de potencia eléctrica que hubo el año 2007 (1.700 MW), y la capacidad instalada debería aumentar de los 3.600 MW existentes en el año 2007 a aproximadamente 4.800 MW en el año 2017, es decir, se proyecta un incremento de 1,200 MW en la capacidad instalada.

Respecto de la oferta eléctrica futura, las estimaciones de la Comisión Nacional de Energía indican que hacia el 2018, la capacidad instalada, actualmente de 13500MW, se incrementarla en aproximadamente 10.000MW. La composición por tipo de fuente muestra proyectos hidroeléctricos con capacidades acumuladas en tomo a 1.100MW, la generación térmica aportarla cerca de 8.500MW, la generación geotérmica instalará capacidad por cerca de 260MW y la generación eólica generará aproximadamente 150MW adicionales.

El desglose por tipo de generación que se espera ingrese hacia el 2018 se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1.2 Tipo de capacidad instalada total

Tipo de Central	Capacidad [MW]	Número de Proyectos
Carbón	4.269	16
Diesel	774	9
Eólica	148	6
Gas	3.370	9
Geotérmica	260	8
Hidroeléctrica	1.100	8
Total Capacidad	**9.645**	**56**

Fuente: Comisión Nacional de Energía

En general, la inversión en generación de energía eléctrica ha permitido sostener el crecimiento de la demanda. Sin embargo, a comienzos de la presente década se observó una desaceleración en el ritmo general de las inversiones en generación. Este fenómeno fue producido por la reducción del suministro de gas natural argentino, que causó una fuerte incertidumbre en el sector, paralizando la toma de decisiones.

Es de importancia notar que los requerimientos futuros podrán atenuarse si se incrementa la eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Por otra parte, la experiencia internacional indica que el consumo unitario de energía tiende a disminuir a medida que un país se desarrolla. Sin embargo, las carencias que aún se observan en el consumo energético de amplios segmentos de la población y la necesidad que tiene Chile de seguir creciendo, hace irrealista suponer que la demanda de energía no vaya a aumentar en forma sustantiva.

La satisfacción de las mayores necesidades se verá obstaculizada por las significativas carencias que Chile manifiesta en fuentes energéticas de bajo costo. Cabe señalar que en la actualidad sólo alrededor del 30% del consumo doméstico se satisface con fuentes propias. En el caso del suministro eléctrico, dicha proporción fluctúa en torno al 50%, dependiendo de la pluviometría.

Es probable que en el mediano plazo el petróleo y sus derivados mantengan una elevada participación en el consumo global de energía, debido especialmente a su utilización en el transporte y calefacción. Esto ocurriría incluso si se mantienen los altos precios actuales o si se llegan a concretar iniciativas destinadas a desincentivar su uso, por ejemplo, mediante restricciones cuantitativas o impuestos a la emisión de CO2.

El gas natural licuado importado en buques desde distintos puntos de origen, podría constituir una alternativa interesante. No obstante, es probable que el alto costo relativo de este combustible y su elevada demanda en la economía mundial, limite sus aplicaciones en actividades muy intensivas en el uso de energía, como la generación eléctrica.

El carbón importado es una fuente relativamente abundante que deberá seguir estando disponible para los consumidores nacionales. Podrá ser complementado además a menor escala por productores nacionales, especialmente si se reactiva la producción en Magallanes. Es probable que siga teniendo ventajas de costos en la generación eléctrica, pero no puede descartarse una dificultad creciente para ser utilizado, ya sea porque se implementen iniciativas destinadas a restringir las emisiones de CO2, o se haga más compleja la identificación de posibles localizaciones para plantas a carbón.

La hidroelectricidad debería seguir manteniendo su papel como principal fuente doméstica de energía, especialmente si se concretan los importantes proyectos que actualmente están en desarrollo en la zona de Aysén. No obstante, su expansión se verá naturalmente limitada una vez que se termine de aprovechar las fuentes con mayor potencial energético, aquellas de menor costo o las más cercanas a los centros de consumo. Por otra parte, en un horizonte de largo plazo, no pueden descartarse cambios climáticos que afecten el aporte hidroeléctrico de las centrales existentes.

2 RESUMEN EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

En este capítulo se entrega un cuadro resumen con la información con la información resumida de los estudios en profundidad de cada país realizados por el grupo de trabajo, los cuales se encuentran en los apéndices del presente informe.

2.1 Tabla Resumen de Experiencias Internacionales

País	Contribución Nuclear a la Matriz Energética	Política Nacional y Marco Legal	Marco Institucional y Regulatorio	Seguridad del Abastecimiento de Combustible
Canadá	15,8% de la generación eléctrica, 17 unidades nucleares, todas PHWR, capacidad total de 12017 MW. 3 reactores PHWR en restauración, capacidad total de 2135 MW. Propuesta para el desarrollo de hasta 11 unidades más de 1000 – 1100 MW (Sin confirmación del tipo de reactor)	Ley de seguridad y control nuclear Ley de evaluación ambiental Canadiense Ley de responsabilidad nuclear Ley de combustible nuclear utilizado	Federal: La Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC) regula la salud, la seguridad y el ambiente relacionado al uso de la energía nuclear y los materiales, así como también para satisfacer los acuerdos internacionales. Con este fin, la CNSC establece las políticas, desarrolla las regulaciones, toma las decisiones de licenciamiento y vela por que se cumplan. Provincial/Territorial: Las organizaciones provincials como el ministerio de medio ambiente y salud se asegura que todos los estándares provinciales sean cumplidos, a través de la participación en acuerdos ambientales y de licenciamiento operativo y las inspecciones. Corporativo: La Organización de gestión de residuos nucleares (NMWO) se estableció para proporcionar recomendaciones al gobierno federal sobre la gestión a largo plazo del combustible nuclear usado.	Normalmente, se requiere menos del 20% de la producción doméstica para las necesidades de combustible nuclear Canadiense. La fabricación del combustible se realiza en el país.

Estados Unidos	En el 2007, los reactores de energía nuclear generaron casi el 20% de la energía total de los Estados Unidos. 104 reactores, con una capacidad de generación total sobre los 99000 MW están ubicados en 64 lugares. De estos, 69 son de tipo PWR, y el resto son BWR. Se han propuesto y planeado nuevos reactores de energía nuclear de varios tipos en 19 lugares, con una capacidad adicional por sobre lo 63000 MW. Además de estas instalaciones, hay 10 reactores desmantelados, 14 en el almacenamiento seguro, 2 sepultados y 2 con las licencias finalizadas.	La regulación de la energía nuclear está primeramente bajo la jurisdicción del gobierno federal. Las partes claves de la legislación incluyen: ***Ley de energía atómica –*** es la principal regulación nuclear de los E.E.U.U. Provee la regulación para el desarrollo y uso del material nuclear y las instalaciones. ***Ley de reorganización de energía Plan de reorganización No. 3 –*** establecido en los E.E.U.U. por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ***Ley política de residuos nucleares*** ***Ley de enmienda política de desechos radiactivos de bajo nivel*** ***Ley de control de radiación de la fabricación de uranio en escombros*** ***Ley de no proliferación nuclear*** ***Ley de procedimiento administrative*** ***Ley de flexibilidad regulatoria*** ***Ley de revisión del congreso*** ***Ley de política ambiental nacional*** ***Ley de transporte uniforme de materiales peligrosos*** ***Omnibus Budget Reconciliation Act*** Cada estado tiene la responsabilidad de disponer los residuos radiactivos de bajo nivel generados, dentro de sus fronteras.	La NRC y el departamento de energía (DOE) supervisan la regulación de la energía nuclear en los E.E.U.U. Los gobiernos estatales también regulan aspectos de la energía nuclear incluso teniendo la responsabilidad preliminar de los planes de emergencia. La NRC puede firmar acuerdos con un estado para renunciar a una porción de esta jurisdicción sobre ciertos materiales nucleares y actividades. En la actualidad existen 34 acuerdos estatales. La NRC se formó para regular la energía nuclear. Con la responsabilidad primaria de proteger la salud pública y la seguridad, la NRC: establece normas y reglamentos; licencias para las instalaciones nucleares y para los usuarios de materiales nucleares; e inspecciona para garantizar su cumplimiento. La NRC licencias todas las instalaciones comerciales de combustible nuclear, que participan en el procesamiento y la fabricación de uranio combustible del reactor, así como plantas de energía nuclear y a sus operadores. El DOE es responsable por el desarrollo y la producción de armas nucleares; la promoción de la energía nuclear; otros trabajos energéticos relacionados; y la regulación de las aplicaciones militares nucleares, de los materiales y las instalaciones. El departamento de transporte y la NRC comparten la responsabilidad por el transporte seguro del material radiactivo. El departamento de trabajo tiene sobre todo la responsabilidad por la seguridad y el bienestar de los trabajadores. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) da normas y directrices para limitar la exposición humana a la radiación, las obras con el público, la industria y otros organismos gubernamentales, incluso en el ámbito estatal. La EPA también está facultada para establecer normas para la eliminación de los desechos radiactivos. La NRC es responsable de la promulgación y aplicación de las normas de la EPA con la que entregan las licencias de las instalaciones.	En la actualidad el suministro de combustible es muy dependiente de las importaciones de concentrado de uranio, la minería, la conversión y el enriquecimiento. En 2007 menos del 10% del uranio adquirido para el uso civil de las plantas nucleares fue de origen estadounidense. La mayor parte de concentrado importado viene desde Canadá. Para el enriquecimiento, existe una planta en Kentucky con capacidad para 8 millones de SWU/año. Casi la mitad de la demanda actual, proviene del uranio Ruso de alto enriquecimiento. El combustible enriquecido, ha sido importado también de instalaciones en Reino Unido, Francia, Alemania y Holanda. El gobiernos de los E.E.U.U. ha declarado 174 toneladas de uranio militar de alto enriquecimiento (HEU) para uso con uranio de bajo enriquecimiento, y el primer combustible fabricado ya fue enviado. El gobierno de los E.E.U.U. también ha acordado disponer de 34 toneladas de plutonio para armamento antes de 2014, incorporándolo (con uranio agotado) en el combustible del óxido mezclado. Virtualmente todos los requisitos de la fabricación de combustible serán cumplidos por fuentes domésticas.

Finlandia	37% de la producción doméstica es nuclear. La producción doméstica provee menos de la mitad de la electricidad usada total. Hay dos reactores WWER con un total de 1020 MW en un lugar, y dos reactores BWR en otra localización totalizando 1720 MW. Tres propuestas están en desarrollo en los sitios actuales de 1800 MW cada uno.	Decreto y Ley de energía nuclear Ley de radiación Ley de responsabilidad nuclear Decreto y ley procedimientos de evaluación de impacto ambiental	Federal: El ministerio de industria y comercio (KTM) coordina, controla y crea las legislaciones que gobiernan las actividades de las plantas nucleares. La autoridad de seguridad nuclear y radiación (STUK) es responsable por la seguridad, el diseño, el cierre y por la aplicación de las regulaciones a todas las instalaciones nucleares. El STUK y el ministerio de medio ambiente son responsables por las evaluaciones ambientales. El gobierno de Finlandia emite las licencias para operar las plantas de poder nucleares. KTM también se asegura que sean hechas las provisiones para los recursos nucleares utilizados. Local: Los municipios también participan en la evaluación ambiental.	El combustible nuclear es 100% importado desde varios países en el mundo. La conversión se ha realizado en Canadá y Francia, con enriquecimiento en Rusia. La fabricación del combustible ha sido en Alemania, Suecia y España.

Francia	En el 2004, 85% de la energía en Francia provenía de fuentes nucleares. Existen 50 reactores PWR con una capacidad total de 63073 MW, todos propiedad de EDF. Se han establecido metas de largo plazo para reemplazar prácticamente todos los reactores por el reactor EPR de Areva, uno al año, partiendo el 2020. Un EPR adicional de 1620 MW está en construcción y 11 reactores han sido puestos fuera de servicio, la mayoría de los cuales son reactores del tipo GCR.	Act No. 91-1381 – governs research on radioactive waste management; and Decree No. 63-1128 – sets up the licensing procedure for nuclear installations. No existe un cuerpo legal único para las instalaciones nucleares, La mayoría de piezas regulatorias de la industria son parte de otros cuerpos legales, tales como la legislación ambiental. Los cuerpos legales que aportan a la regulación de la industria son: Cuerpo Legal No. 68-493 – establece las reglas referentes a los seguros de terceras partes sets relacionados con la energía nuclear; Código de Salud Pública– contiene los requerimientos de licenciamiento para el uso de radioisótopos; Cuerpo Legal No. 80-572 – provee reglas para la protección y control de los materiales nucleares; Cuerpo Legal No. 91-1381 – regula la investigación en el manejo de desechos nucleares radioactivos; y Decreto No. 63-1128 – establece los procedimientos para obtener licencias para instalaciones nucleares.	La Dirección General de Energía y Materias Primas, bajo el Ministerio de la Industria están a cargo de la implementación de la política energética. El ministerio de Salud y el de Ecología y Desarrollo Sustentable (MESD en francés) son responsables de la prevención y el control de los efectos en la salud humana y el medioambiente, respectivamente. El Ministerio de la Industria y el MESD son responsables de supervigilar la instalación de las instalaciones nucleares. La Autoridad de Seguridad Nuclear es la agencia regulatoria responsable de la seguridad nuclear y la protección radiológica, y como tal reporta a los tres ministerios.	COGEMA, una división de la empresa Areva, lleva a cabo las operaciones de exploración, extracción y molienda de uranio. El concentrado de óxido de uranio es importado desde Canadá, Níger, Australia, Kazakstán & Rusia, principalmente como parte de contratos a largo plazo. Francia tiene la capacidad para convertir uranio, enriquecerlo y producir combustible nuclear. El programa nuclear francés es basado en un ciclo cerrado de combustible, con reprocesamiento del combustible usado para la recuperación de uranio y plutonio.

Reino Unido	12,8% de capacidad instalada total, potencia instalada de 11 GWe en 19 reactores; el 2007 generaron un 15% del total de la electricidad consumida.	Atomic Energy Authority Act de 1954. Nuclear Installations Act de 1965 y correcciones posteriores Atomic Energy Authority Act de 1971 Atomic Energy Act de 1989 Radioactive Substances Act de 1993 Atomic Energy Authority Act 1995 Nuclear Safeguards Act de 2000 Nuclear Industries Security Regulations Act de 2003 Energy Act de 2004	La UKAEA, establecida en 1954. Nuclear Decommissioning Authority fundada mediante la Energy Act de 2004. Secretario (Ministro) de Comercio e Industria responsable por la seguridad de las centrales nucleares y de las otras instalaciones nucleares civiles en el RU. Comisión de Salud y Seguridad (HSC), tiene la responsabilidad de asegurar que exista un adecuado marco regulatorio relativo a la seguridad de las instalaciones nucleares. Nuclear Installations Inspectorate (ó Dirección Nuclear), regula la seguridad nuclear mediante licencias sobre el diseño, la construcción, operación, mantenimiento y decomisionamiento de instalaciones nucleares. Agencia de Protección del Medioambiente (APM), en abril del 2005 la APM asumió la protección radiológica, considerada como parte de protección de la salud.	El RU cuenta con todas las capacidades del ciclo de combustible nuclear, exceptuando la extracción de uranio de las minas. Se producen elementos combustibles para todos los tipos de reactores en servicio. Se cuenta con contratos con proveedores internacionales de uranio para satisfacer las necesidades de los reactores en servicio. Producen combustible en base a óxidos mixtos U-Pu para reactores de agua ligera.

República Checa	31% generación eléctrica; 6 reactores, potencia instalada 3690 Mwe	Ley Atómica (*Atomic Act*) provee el marco regulatorio principal sobre el cual se organiza la actividad nuclear en el país. Fue promulgada en 1997 y reformada en 2002, con el objetivo de adaptarse a las exigencias de la UE.	La Oficina Estatal para la Seguridad Nuclear (SÚJB), fundada en 1993, es la autoridad regulatoria nacional en temas de seguridad nuclear y radiación. El Director de la SÚJB posee además el cargo de Inspector General de Seguridad Nuclear	La República Checa no posee infraestructura para la fabricación del combustible nuclear ni de ningún otro servicio relativo al ciclo del combustible, tales como conversión y enriquecimiento. Además, el país posee restricciones a las importaciones de uranio. Servicios de suministro de uranio, conversión, enriquecimiento y fabricación de elementos combustibles han sido históricamente contratados a proveedores rusos. Recientemente la conversión y el enriquecimiento también son realizados en el Reino Unido, y la fabricación de los elementos combustibles se lleva a cabo en EE.UU. para central de Temelin. Desde 2010 en adelante se ha comprometido, de forma preliminar, el abastecimiento de combustible desde la Federación Rusa. La compañía estatal Diamo s.p. es la única operadora en la extracción y procesamiento de uranio existente en el país. La mina de uranio de Dolni Rozinka es la única que aún se mantiene operativa, de las antiguas minas de uranio de Checoslovaquia. Única mina de uranio de la UE.

Suiza	39,5% de generación eléctrica, 5 reactores, 3220 MW potencia nuclear	Acta Federal de Energía Atómica de 1959, fue actualizada en 1978 y reemplazada más tarde en febrero del 2003 por el Acta de Energía Nuclear, entrando en vigencia el año 2005. Acta de Energía Nuclear (Nuclear Energy Act), la Ordenanza de Energía Nuclear (Nuclear Energy Ordinance), el Acta de Protección Radiológica (Radiological Protection Act) y la Ordenanza de Protección Radiológica (Radiological Protection Ordinance). La construcción de plantas de energía nuclear debe obtener una "autorización general", respaldada por el Consejo Federal (Gobierno). Al mismo tiempo debe ser ratificada por la Asamblea Federal. Quedan pendientes las legislaciones en materia de manejo de residuos nucleares y de la creación de un lugar de repositorio de alta profundidad para el material de mediano y alto nivel radiactivo.	La institución encargada de la regulación de las instalaciones nucleares es el Cuerpo Federal de Inspección de Seguridad Nuclear Suizo (Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, HSK). Por otra parte, la Oficina Federal de Energía es la autoridad encargada de supervisar la seguridad nuclear y establecer las salvaguardias. Para la importación, exportación, tránsito y traslado de combustible nuclear, se requiere una licencia, la cual es otorgada por la Oficina Federal de Energía Suiza (BFE)El Departamento de Medioambiente, Transporte, Comunicaciones y Energía (UVEK) es una entidad regulatoria que reporta al Consejo Federal Suizo. Por su parte, la Oficina Federal de Energía (BFE), quien a su vez regula, reporta al UVEK. El BFE está a cargo de la ejecución de las leyes en materia energética. Al mismo tiempo, entrega soporte en la investigación sobre energía nuclear. El HSK es parte del BFE. La Comisión de Seguridad de Instalaciones Atómicas reporta al igual que el otro grupo de estamentos, al Consejo Federal Suizo, a través del BFE. El HSK trabaja en un nivel más técnico.	El Uranio es adquirido de tres fuentes principales: Asociaciones o joint-ventures para su producción, contratos de largo plazo y contratos en el *spot market*. El enriquecimiento es proveído por los Estados Unidos, Rusia y la Comunidad Europea (Francia, Alemania, Gran Bretaña y Holanda). Los elementos combustibles son manufacturados en Estados Unidos, la Comunidad Europea (Bélgica, Alemania, Gran Bretaña, España y Suecia) y Rusia. Para el reprocesamiento hay contratos establecidos con COGEMA y BNFL, los cuales cubren un tercio del material irradiado. En la central de Beznau I, se han utilizado desde 1978 elementos del tipo MOX que incluyen plutonio reciclado. Hoy en día, el uso de MOX es un procedimiento operacional estandarizado para las plantas Beznau. Gösgen también utiliza MOX, desde 1997.

Corea del Sur	36% de la producción eléctrica doméstica es nuclear. La producción nacional es pequeña – Corea de Sur es casi completamente dependiente de la importación de energía. 20 reactores tienen una capacidad total de 17500 MW, la mayoría de los cuales son PWR. Se ha previsto la construcción de otros 8 reactores PWR (todos APR-1400) con una capacidad total de 9400 MW.	Corea del Sur aprobó la ley de energía atómica (AEA) en 1958. Otras regulaciones importantes de la energía nuclear incluyen la ley de compensación nuclear, las regulaciones del sistema de licenciamiento de instalaciones nucleares y la ley sobre la protección física y las emergencias radiológicas. La AEA fue modificada en 1985 para establecer un fondo de desechos radiactivos. La ley del negocio eléctrico que requiere la recaudación de fondos procedentes de las plantas nucleares para la gestión de los desechos radiactivos.	La principal autoridad para tomar las decisiones de la energía nuclear es la Comisión de energía atómica (AEC), bajo el mando del primer ministro. La regulación de la seguridad, investigación y el desarrollo nuclear está bajo la responsabilidad de la Comisión de seguridad nuclear (NSC), que está bajo el mando del ministro de ciencia y tecnología (MOST). La NCS es independiente de la AEC. Bajo el MOST, el Instituto Coreano de seguridad nuclear (KINS) es el regulador experto de seguridad. El conteo del material nuclear y el régimen internacional de salvaguardias está bajo el auspicio de la Agencia nacional de control y gestión nuclear (NNCA). El ministerio de comercio, industria y energía (MOCIE) es responsable por: el desarrollo de la política energética, la construcción y operación de las plantas nucleares, el suministro de combustible nuclear y la gestión de los desechos radiactivos. El MOCIE es también responsable de las compañías eléctricas hidráulicas y nucleares (KHNP), La compañía de combustible nuclear (KNFC), El instituto de tecnología medioambiental (NETEC) y las operaciones de ingeniería pesada.	Corea del sur no tiene minería ni molienda de uranio. El concentrado de uranio es importado desde, Australia, Canadá, Reino Unido, Francia, Rusia, los Estados Unidos y África del sur. Además las KHNP y otras agencias están involucradas con la exploración de uranio en Canadá. El Instituto Coreano de investigación atómica (KAERI) y la Compañía Coreana de combustible nuclear (KNFC) suministran combustible para reactores PWR Y CANDU PHWR. Junto con esta capacidad interna, Corea del Sur tiene contratado a largo plazo un servicio de conversión y enriquecimiento con los Estados Unidos, el Reino Unido, Francia, Canadá y Rusia.

España	17%, 4 reactores	La regulación actual que rige en España respecto de la Energía Nuclear, tiene su origen en la Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear, promulgada en 1964, la cual ha sido actualizada varias veces por Decreto Real. La Regulación de Instalaciones Radiactivas y Nucleares se aprobó en diciembre de 1999, sustituyendo la anterior, en vigencia desde 1972. Además, está en concordancia con la legislación de la Comunidad Europea, de la cual España es miembro. Principales instituciones relacionadas: Ministerio de Economía (dicta normas, entrega y caduca licencias, sanciona y aprueba políticas de manejo de desechos); Comisión de Seguridad Nuclear (CSN. Autoridad más relevante para seguridad y protección radiológica. Institución creada por Ley, e independiente). El proceso de licenciamiento de instalaciones nucleares en España está regulado por la Ley 25/1964 y las posteriores modificaciones a la misma.	Las principales instituciones son el Ministerio de Economía , Consejo de Seguridad Nuclear y el Ministerio de Medioambiente. Entre estos tres organismos se vela por la entrega de licencias, el correcto funcionamiento de las instalaciones y de la seguridad radiactiva. También se encargan de materias como el manejo de residuos nucleares.	El uranio es importado desde un gran número de países, de forma de diversificar su suministro. Los principales proveedores y su participación son: Rusia (30%), Canadá (17%), Australia (15%), Estados Unidos (14%), Namibia (12%) y Níger (12%). En la República del Níger, ENUSA (Empresa Nacional del Uranio) posee una importante participación en la propiedad de la minera COMINAK, junto a otras empresas europeas. ENUSA Industrias Avanzadas S.A. es una compañía estatal que se encarga de la compra de uranio, su enriquecimiento y la fabricación del combustible nuclear para todas las centrales eléctricas españolas. Los servicios de enriquecimiento no se realizan domésticamente, sino en Francia, donde ENUSA posee un 11% de participación en la propiedad de EURODIF, un consorcio nuclear europeo. Además de la función de compra y procesamiento del uranio, ENUSA realiza todas las gestiones logísticas asociadas a su transporte, hasta la fabricación del combustible final.

Suecia	46%, 64,3TWh	La toma de decisiones en torno a la energía nuclear se realiza de forma colectiva con todo el Gobierno, a pesar de que la Constitución sueca dicte que las propuestas en materias del ministerio debe hacerlo exclusivamente cada Ministro. El Acta de Actividades Nucleares establece claramente que las actividades nucleares deben ser llevadas a cabo bajo el modo de cumplir con las obligaciones suecas con el objeto de: prevenir explosiones nucleares; no proliferar armamento nuclear y tratos no autorizados con material nuclear. Dice expresamente que uno de los principales métodos para conseguir seguridad en las actividades nucleares es prevenir conductas en contra de la ley que involucren material nuclear La responsabilidad en el manejo de las centrales nucleares recae sobre aquellos que adquirieron la licencia para el funcionamiento de una central nuclear. El SKI es la entidad encargada de supervisar sus operaciones, es la entidad que debe asegurarse (haciendo un seguimiento continuo) que los responsables de operar las centrales lo hagan acorde a la legislación, tratados de no proliferación, entre otros aspectos relevantes.	Diversas instituciones se encargan de supervisar y regular las responsabilidades del campo. Como regla general, en Suecia, estas entidades cuentan de gran independencia dentro del amplio marco regulatorio dado por el Gobierno. Las principales instituciones son: Ministerios de Medioambiente, de Justicia, de la Industria y Transacciones, de Asuntos Exteriores. Inspectorado de Energía Nuclear (SKI), Instituto de Protección Radiológica (SSI) Las principales regulaciones son: Nuclear Power Decommissioning Act (Enero 1998); Act on Nuclear Activities (1984, actualizada en mayo del 2000). Radiation Protection Act (1998). Act on Financing of Future Expenses for Spent Fuel (1981, actualizada en 1986). Nuclear Liability Act (1986, actualizado en 1995).	La compañías operadoras de las centrales nucleares suecas importan todo el uranio que utilizan, principalmente desde Australia y Canadá. Los servicios de enriquecimiento también son realizados fuera del país, en función de las decisiones de cada operador. Westinghouse Electric Sweden (antiguamente ASEA Atom) fabrica combustible nuclear tanto para los reactores BWR como para los PWR existentes en el país. Además la compañía fabrica en Suecia combustible nuclear para reactores en el extranjero. Cabe destacar que no existe obligación de las operadoras de comprar el combustible de fabricación nacional, y algunas de ellas compran parte de éste a compañías ubicadas en otros países. La industria nuclear del país debe moverse con gran cautela en sus operaciones, debido a la vigencia de leyes “anti-nucleares” que, a pesar de no cumplirse del todo, pueden significar el entrampamiento judicial de algunas decisiones. El tema del suministro de uranio y el enriquecimiento no ha generado problemas importantes, salvo restricciones a importaciones desde ciertos países de Asia Central.

País	Rol del Gobierno en la Industria Núcleo-eléctrica	Rol del Sector Privado en la Industria Núcleo-eléctrica	Requerimientos de Recursos Humanos
Canadá	El gobierno federal no tiene la propiedad directa de las instalaciones nucleares. Los gobiernos provinciales tienen la propiedad única de tres empresas de servicios públicos que actualmente tienen aproximadamente el 50% de la capacidad. Hay 5 reactores propuestos en dos sitios que actualmente operan de propiedad provincial. Las empresas establecieron el NWMO y contribuyeron a los fondos fiduciarios para financiar la gestión a largo plazo del combustible gastado. El gobierno federal es la principal fuente de financiación de I + D. La Atomic Energy Limited (AECL) lleva a cabo investigaciones sobre el diseño y el apoyo de los reactores CANDU. El Consejo Nacional de Investigación (NRC) apoya los programas nucleares académicos de I+D.	Las minas y plantas procesadoras de uranio son manejadas por privados en Canadá. Bruce Power opera reactores nucleares en Ontario que tienen aproximadamente el 50% de la capacidad total de Canadá. Bruce Power está desarrollando planes para hasta 8 reactores más. Bruce Power contribuye a los fondos fiduciarios de NWMO para financiar la gestión a largo plazo del combustible gastado.	CNCS 400 empleados; entrenamiento cientifico. En el 2005 la operación de las 17 unidades nucleares existentes (capacidad total de 12767 MWs) sostuvo 66,694 trabajos de jornada complete, directa e indirectamente en Canadá.

Estados Unidos	El Gobierno no posee ni opera el ciclo comercial de combustible o plantas nucleares. Colegios y universidades desempeñan un papel importante en la investigación y el desarrollo nuclear, recibiendo subvenciones y contratos de las agencias federales. Unos pocos realmente asumen la responsabilidad total del funcionamiento de laboratorios de propiedad del Gobierno. Un número de universidades también operan, con licencia de la NRC, reactores de investigación de baja potencia. El Departamento de Energía lleva a cabo y apoya las actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear de fisión y de fusión, incluyendo: producción, procesamiento y utilización de tecnologías; impacto ambiental; gestión de residuos radiactivos de alto nivel y combustible nuclear gastado y el apoyo al programa nacional de residuos de bajo nivel; esfuerzos internacionales para garantizar la seguridad nuclear, impedir la proliferación nuclear y garantizar el suministro de energía estable.	Las centrales nucleares son propiedad de la industria privada. A finales de 1991, un total de 101 empresas tenían interés en la propiedad de las centrales nucleares. A finales de 2005, las diez principales empresas tenían el 68% de la capacidad de generación. Nuevas inversiones se han producido sólo en los estados que han desregulado sus sistemas para confiar en los mercados para la fijación de precios de la electricidad. El sector privado ha creado grupos de investigación tales como el Electric Power Research Institute (EPRI), que realizan investigaciones sin fines de lucro. Algunas empresas manejan laboratorios propiedad del gobierno en virtud de un contrato.	La construcción de una nueva planta nuclear requeriría la creación de 1400 a 1800 trabajos durante su construcción (llegando a un máximo de 2400 empleos en algunos periodos). La operación de una planta nuclear en EE.UU. genera 400 a 700 trabajos permanentes.

Finlandia	Ambas compañías de energía que operan plantas nucleares en Finlandia (Fortum y TVO) son parcialmente propiedad del gobierno (una justo sobre el 50% y la otra un poco por debajo) El Gobierno financia la investigación nuclear principalmente en el Centro de Investigación Técnica de Finlandia, que es administrado por el Ministerio de Trabajo y Economía (MEE). El STUK financia investigación académica. La mayor parte de la investigación en Finlandia es coordinada a través de la Comisión Consultiva en Asuntos de Energía Nuclear que depende de KTM.	Ambas compañías de energía que operan plantas nucleares en Finlandia (Fortum y TVO) son parcialmente propiedad del gobierno (una justo sobre el 50% y la otra un poco por debajo) TVO y Forum llevan a cabo investigaciones internas respecto a la seguridad, operación de las plantas de energía nucleas y desecho de los residuos. Los productores de los residuos nucleares son los responsables de todos los aspectos de la gestión de los residuos radioactivos.	No se encontraron datos para Finlandia.
Francia	EDF, el único operador de plantas nucleares en Francia, es 100% propiedad del Gobierno. El Commissariat a l'Energie Atomique (CEA), creado por el gobierno francés en 1945, está involucrado en la fundamental investigación atómica, diseño de reactores, desarrollo de combustible, los procesos de enriquecimiento y tecnologías, gestión y eliminación de residuos y la seguridad nuclear. El reactor de diseño rápido CEA se centra en el uso y agotamiento de uranio reprocesado. El manejo de desperdicio es controlado por la Agencia Nacional de Desperdicio Radioactivo (ANDRA), propiedad del gobierno.	La industria del ciclo de combustible es controlado principalmente por Cogema. Areva está involucrado en I+D, incluyendo la investigación en EPR y BWR avanzados.	CEA tenía 15,332 empleados en el 2006.

Reino Unido	Desarrolló la industria desde los años 50 con propiedad inicial total del Estado delas centrales generadoras. Traspasó la propiedad de los reactores AGR y PWR a British Energy, la cual sería vendida a Electricité de France. Mantuvo propiedad de reactores Magnox en proceso de decomisionamiento y cierre. A futuro todos los reactores serán financiados por privados. Mantiene propiedad parcial de British Nuclear Fuels que administra los reactores Magnox y las instalaciones del ciclo de combustible. Repositorio geológico será construido y gestionado por el Estado.	Industria de generación nuclear fue parcialmente privatizada en los años 90. Actualmente BE es propietaria de los reactores AGR y del único PWR. Se ha privatizado varias empresas de servicios relacionados con el decomisionamiento de centrales de potencia y almacenamiento de desechos nucleares. Empresa Rolls Royce Marine fabrica reactores PWR de baja potencia para submarinos nucleares.	Se estima 50.000 empleos directos en la industria nuclear civil y 30.000 empleos indirectos adicionales. BNFL tiene aprox. 10.000 empleados. BE tiene aprox. 6.000 empleados, no todos ellos involucrados en la gestión de las centrales de potencia. Rolls Roycce Marine (defensa) tendría del orden de 1.800 empleados en construcción y servicios de reactores para submarinos nucleares. La Dirección Nuclear (ó NII) cuenta con 250 empleados.
República Checa	Consorcio público-privado CEZ (České Energetické Závody; Industria Checa de Energía, en español) opera las 6 centrales nucleares; El Estado no aporta recursos para la operación ni las inversiones de CEZ, con la única excepción de una garantía estatal a un préstamo del Banco Mundial. A través del National Property Fund (NPF, ente privatizador), el Estado checo posee un 65,9% de CEZ a.s., que fue parcialmente privatizada en 1992. El NPF ha delegado sus derechos accionarios en el Ministerio de Industria y Comercio. El resto de las acciones de la compañía son transadas en la Bolsa de Comercio.	La empresa CEZ es una sociedad anónima de propiedad mixta entre el Estado checo (Ministerio de Hacienda), que controla un 65% de las acciones, e inversionistas privados. A pesar de la participación estatal en la compañía, el Estado no realiza aportes de capital para financiar las operaciones ni la inversión, sino que ésta debe lograr generar utilidades y obtener financiamiento propio. En lo que respecta a la generación eléctrica, la industria está regulada por la Oficina de Regulación Energética (ERU), fundada en 2001 con el fin de centralizar las tareas regulatorias en el mercado eléctrico y energético en general. Aún así, su labor se encuentra apoyada por la Agencia Checa de Energía (CEA) y la Junta Estatal de Inspección Energética. Los reactores VVER fueron fabricados y construidos por SKODA con aporte de ingeniería local (Energoprojekt Praga, Vítkovice y Královopolská) y Temelin con cooperacion de Westinghouse USA.	La SÚJB posee cerca de 200 empleados y dos institutos de investigación, que cumplen funciones de soporte técnico. NRI Rez, la más importante compañía de investigación y desarrollo de tecnología nuclear del país, cuenta con cerca de 600 empleados fijos. En la central nuclear de Temelín trabajan 972 empleados de CEZ, más un número variable de proveedores e inspectores externos que generalmente sobrepasan los 100.

Suiza	Las centrales nucleares son apoyadas dado los beneficios y la congruencia en torno a sus compromisos sobre la emisión de CO2; su principal preocupación en torno a las plantas nucleares está enfocada en la seguridad de las mismas. En 1998 el gobierno suizo consideró eliminar la energía nuclear de su matriz energética. Sin embargo, en el año 2000, se promulgó una ley que se comprometía en disminuir las emisiones de CO2 al medioambiente (a la mitad para el año 2010), lo cual dio un nuevo impulso a la energía nucleoeléctrica	Las centrales nucleares son operadas por compañías privadas. Si bien los cantones y las municipalidades tienen la mayor participación de estas compañías, las entidades administrativas reguladoras no tienen relación algún con los operadores. Es más, la legislación Suiza no permite ningún tipo de vinculación entre éstas y las plantas nucleares. Beznau y Liebstadt son parte del grupo Axpo que pertenece a los cantones del noroeste de Suiza. Otro consorcio público, ATEL es dueño del 40% de Gösgen y de un 27% de Liebstadt. Toda el área de vigilancia de manufactura, reparación, reposición, modificación y servicios relativos a componentes de presión, se encuentran contratados externamente a SVTI (Swiss Association for Technical Inspections), entidad privada.	La Comisión Federal de Seguridad Nuclear (KSA) en Suiza esta compuesta por 13 miembros. El HSK cuenta con alrededor de 70 especialistas, los que se distribuyen según su labor: 29 para seguridad de los reactores; 24 en protección radiológica y preparación de emergencias; 10 en manejo de residuos y seguridad en el transporte; 10 en inspección y asuntos internacionales. Por su parte, 20 personas trabajan en el área administrativa y de infraestructura. La sección SK de la Oficina Federal de Energía cuenta actualmente con 6 personas. La central nuclear de Mühlemberg cuenta con un staff de 305 personas. Beznau I y II cuentan con 497. Gösgen por su parte cuenta con 394 y Leibstadt con 413 personas.
Corea del Sur	El gobierno de Corea del Sur coordina y garantiza el suministro de combustible nuclear a través de KNFC. KHNP es responsable de la gestión y las operaciones de las centrales nucleares y la gestión de los residuos radiactivos. El gobierno de Corea del Sur mantiene un interés mayoritario en KHNP. KAERI establece la iniciativa en I+D en Corea del Sur, incluyendo el desarrollo de la autosuficiencia en el diseño y la construcción de centrales nucleares y los planes de gestión de residuos de alto nivel.	En 1989, el 21% de las acciones de la Korea Electric Power Company se vendieron al público. KHNP es la mayor empresa derivada de esta entidad. KPNP ha creado un acuerdo de cooperación con Westinghouse para la venta comercial internacional de los diseños de reactores. Doosan y Hyundai / Daewoo son las empresas privadas que prestan servicios de construcción y equipos para el sector de las centrales nucleares.	En el 2004, se estimó que 18.518 personas estaban empleadas en el sector de la energía nuclear. De estos, el 33% estaban involucrados en el diseño, consultoría, instalación y fabricación; 28% estaban en operaciones de planta y mantenimiento; 14% en materia de seguridad nuclear y el resto en I + D y funciones de apoyo. La empresa Korea Hydro & Nuclear Power opera 20 centrales nucleares con empleo de aproximadamente 6800 trabajores.

España	En 1951 se crea la Junta de Energía Nuclear. En adelante, la industria privada comenzó a tomar cada vez mayor protagonismo en el desarrollo de la infraestructura nuclear, y el Estado, a través de la JEN, se dedicó a las labores de estudiar, planificar, regular y controlar la incipiente industria núcleo-eléctrica. La decisión estatal de promover el desarrollo de la industria núcleo-eléctrica, como sector estratégico de la economía dio a la empresa privada una gran seguridad al momento de invertir en el sector. De esta manera, el Estado participó activamente de la construcción de las centrales nucleares de primera generación en el país, prestando apoyo técnico y político. En la segunda y tercera generación de centrales nucleares el Estado sí tuvo participación en la propiedad y operación de las centrales. En 1980 se crea el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), lo que implica el fin de la JEN. En 1972 se crea la Empresa Nacional de Uranio, que centraliza toda la pequeña minería de uranio existente el país. La posición del Gobierno español de fomentar y promover el desarrollo de la industria nuclear, sufre un profundo cambio desde 1983, con el Plan de Energético Nacional de 1983, luego llamado la "moratoria" nuclear. Éste estipulaba la paralización de las obras de 5 de las 7 centrales nucleares en construcción y retiraba de forma definitiva los permisos de operación a las empresas operadoras. Respecto de la gestión de los residuos nucleares, es el Estado quien tiene el rol principal. En 1984 se crea la Empresa Nacional de Residuos (ENRESA), que asume toda la responsabilidad de la gestión y almacenamiento provisorio y definitivo de los residuos nucleares	En 1968, se inauguró la primera central nuclear española, José Cabrera, ubicada en Zorita de los Canes, propiedad de la compañía privada Unión Eléctrica Madrileña. Dos años más tarde, en 1970, se conectaba a la red la central nuclear de Santa María de Garoña, propiedad de NUCLENOR, en la provincia de Burgos. En 1972, se inaugura la tercera central nuclear del país, Vandellós I, propiedad de HIFRENSA, en la provincia de Tarragona. Estas tres plantas fueron llamadas la "primera generación" de centrales nucleares del país. Cabe destacar que el desarrollo inicial de la infraestructura nuclear del país fue desarrollado exclusivamente por la industria privada. Más tarde, en la segunda y tercera generación de centrales la entonces compañía estatal ENDESA comenzó a participar de la industria. Aún más, a pesar de haber sido proyectos de tipo "llave en mano", la industria manufacturera española proporcionó una parte importante de las piezas y equipos de las centrales, aunque no los componentes del reactor y de los sistemas de control. En la actualidad, la propiedad de las centrales nucleares es privada y mayoritariamente española. Endesa S.A. e Iberdrola poseen la mayor parte de la capacidad instalada núcleo-eléctrica. Ambas participan de forma conjunta en la propiedad de Asociación Nuclear Ascó-Vandellòs, la mayor operadora del país que cubre un 40% de la capacidad, y en Centrales Nucleares Almaraz-Trillo, que representa un 39% del total. Iberdrola posee además el control total de la central nuclear de Cofrentes. La central de Santa María de Garoña es propiedad del grupo Nuclenor.	La Empresa Nacional de Uranio (ENUSA) emplea a un total de 581 personas para realizar sus actividades, fuera de quienes trabajan para empresas subcontratistas y participan de sus operaciones. ENRESA, la compañía estatal de gestión de residuos radiactivos, empleó en 2006 a 296 empleados de forma permanente. El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) poseía en 2004 una planta de personal de 1.169 empleados. El Consejo de Seguridad Nuclear, el principal organismo regulador de la industria nuclear del país, tiene a 461 trabajando permanentemente en sus instalaciones. La Asociación Nuclear Ascó-Vandellòs posee 800 empleados directos que participan de la operación de los reactores de Asco I, Asco II y Vandellòs II. Además de éstos, en las centrales trabajan 600 empleados contratistas adicionales, que dependiendo de las necesidades de trabajo, pueden llegar a los 1000. La central nuclear de Santa María de Garoña posee un total de 713 empleados.

Suecia	En 1968 el Gobierno sueco decidió la formación de un consorcio público-privado para la fabricación de la tecnología nuclear del país. Ello significó la fundación de una nueva compañía, ASEA Atom, donde el Estado y ASEA poseían partes iguales de la propiedad. Con ello, el Gobierno quería dar un impulso al desarrollo de la tecnología nuclear nacional y participar activamente del desarrollo de la industria. Ese mismo año, Vattenfall encargó al consorcio un reactor BWR para la unidad número 1 de la central de Ringhals, y a Westinghouse un diseño PWR para la unidad número 2. Luego, a comienzos de la década de los setenta, Vattenfall comenzó a cooperar con algunas compañías eléctricas privadas para construir la central de Forsmark, que entró en operaciones a finales de 1980. En 1976 una nueva coalición de gobierno asumió el poder, dominada por el Partido de Centro, abiertamente crítico de la energía nuclear. Se promulgó en el Parlamento la “Ley de Estipulación”, que implicaba el congelamiento de la carga de combustible nuclear a los reactores. Luego, la controversia nuclear en el país se complicó aún más, y todos los partidos políticos acordaron la realización de un plebiscito. El referendo se realizó en 1980 y el Gobierno firmó un compromiso para la investigación y desarrollo de energías alternativas y para el cierre definitivo de las centrales nucleares antes de 2010. El Estado sueco es propietario mayoritario, a través de Vattenfall, de dos de las centrales nucleares: Ringhals (70,4%) y Forsmarks (66%).	Su participación comenzó en 1955 con la formación del Atomkraftkonsortiet (Consorcio de Energía Atómica). El AKK derivó finalmente en la compañía OKG AB, la cual construyó la central de Oskarshamn. Por otra parte ASEA tuvo una participación trascendental en el desarrollo de la energía nuclear. Fue la encargada del diseño y construcción de los primeros 2 reactores nucleares con que contó el país, además que una filial suya construyó 8 de los 11 restantes reactores nucleares de potencia presentes en el país. ASEA Atom ha participado activamente en el mantenimiento de las instalaciones nucleares y el suministro de combustible hasta el día de hoy. En 1988 ASEA se fusionó con la compañía suiza Brown Boveri, para formar el consorcio ABB (ASEA Brown Boveri). En el año 2000 ABB decidió la venta de ABB Atom a British Nuclear Fuel, por lo que pasó a formar parte de Westinghouse Electric Company. El sector privado es propietario exclusivo de la central de Oskarshamn y posee una participación minoritaria en las dos centrales restantes. Un 29,6% de la propiedad de la central de Ringhals está en manos de E.ON Sverige (de capitales alemanes), como también un 8,5% de Forsmarks y un 54,5% de Oskarshamn. MKG AB, un consorcio de servicios públicos privado, posee 25,5% de la propiedad de la central de Forsmark. Finalmente Fortum, de capitales finlandeses, es propietaria del 45,5% restante de OKG AB (operadora de Oskashamn). En resumen, el sector privado es propietario de un 54,5% de las compañías operadoras de las centrales nucleares suecas.	La compañía de gestión de combustible nuclear y desechos radiactivos, SKB, emplea a cerca de 330 personas de forma directa, y a más de 500 incluyendo asesores externos y expertos. La Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica, recién creada en Julio de 2008 mediante la fusión del SKI (Inspección de Energía Nuclear Sueca) y el SSI (Instituto Nacional de Protección Radiológica), cuenta con una fuerza de trabajo de 250 profesionales. Studsvik AB, compañía líder en I&D de tecnología nuclear en Suecia, cuenta con una planta de 1.300 empleados distribuidos en siete países. En la central nuclear de Oskarshamn trabajan aproximadamente 950 personas, según la información para el año 2008. La central nuclear de Forsmark posee aproximadamente 860 empleados de tiempo completo. Por último, la central nuclear de Ringhals posee una cantidad aproximada de empleados que asciende a 1430 personas.

País	Seguridad y Protecciones	Regímenes de Seguridad Nuclear y de Radiación	Actitud hacia la Energía Nuclear
Canadá	Canadá forma parte del Tratado de No Proliferación Nuclear (NPT) como un estado sin armamento nuclear. Seguridad General Nuclear y Regulaciones de Control; Regulaciones de Seguridad Nuclear; No proliferación de Importaciones Nucleares y Regulación del Control de las Exportaciones; Guías de Seguridad de la Agencia Internacional de Energía Atómica.	La CNSC vigila la seguridad de la energía nuclear. La legislación es consistente con las recomendaciones del ICRP y del NUSS de la IAEA. Canadá es parte de la Convención sobre Seguridad Nuclear y otras convenciones relacionadas de la IAEA. Los grupos de operadores de CANDU pertenecen a WANO.	Basado en un encuesta realizada en enero 2008, el público se mostro en un 50% a favor de la energía nuclear (47% a favor vs. 51% opuesto)
Estados Unidos	La Oficina de Seguridad y Protección de Material Nuclear (NMSS), es responsable de la regulación de las actividades que proveen la seguridad y garantizan la producción de combustible nuclear utilizado en los reactores nucleares comerciales; el almacenamiento seguro, el transporte y la eliminación de residuos radioactivos de alto nivel y combustible nuclear gastado; y el transporte de materiales radiactivos regulados por la Ley de energía atómica. La NRC ayuda a implementar los siguientes tratados y convenios internacionales: • Tratado de No Proliferación Nuclear (NPT) • Acuerdo de Seguridad U.S-IAEA • Protocolo Adicional al Acuerdo de Seguridad U.S.-IAEA • Convención de Notificación Temprana en Caso de Accidente Nuclear y Convención de Asistencia en Caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica • Convención de Seguridad Nuclear (CNS)	El NCR emite recomendaciones para proveer la base científica en los esfuerzos de protección contra la radiación, trabajando en forma conjunta con instituciones como el ICRP. La NRC utiliza estos para fijar los estándares de protección contra la radiación en la regulación de la industria nuclear. La NRC también emite licencias, inspecciona todas las instalaciones nucleares y es responsable de la implementación de los tratados y convenciones en seguridad nuclear, tales como la conversión de la IAEA sobre seguridad nuclear. El instituto sobre operaciones nucleares de EE.UU. es miembro de WANO.	En el 2006, casi el 70% del público decía estar a favor de la utilización de energía nuclear como forma de proveer electricidad a Estados Unidos.

Finlandia	STUK supervisa la seguridad de centrales nucleares y asegura el cumplimiento con el Tratado de No Proliferación Nuclear.	STUK vigila la seguridad de la energía nuclear. La legislación es consistente con las recomendaciones del NUSS de la IAEA. Finlandia es parte de la Convención sobre Seguridad Nuclear y otras convenciones relacionadas de la IAEA. Los grupos de operadores en Finlandia pertenecen a WANO.	58% de los finlandeses entrevistados el 2005 estaban a favor de la energía nuclear. Este número aumentó a un 61% en el 2008. Las preocupaciones mas comunes eran referentes a los desechos nucleares.
Francia	Francia es parte del NPT. La legislación se basa en gran medida en las recomendaciones internacionales o reglamentos de la Comisión Internacional de Protección Radiológica y de las Directivas de la Unión Europea.	La ASN es la autoridad regulatoria responsable de la seguridad de la energía nuclear y protección radiológica. La legislación es consistente recomendaciones y regulaciones del ICRP y con directivas de la EU y del NUSS de la IAEA. Francia es parte de la Convención sobre Seguridad Nuclear y otras convenciones relacionadas de la IAEA. EDF (operadores) pertenece a WANO.	La aceptación publica era del 52% en favor de la producción de energía por plantas de energía nuclear.
Reino Unido	Parte del TNP como estado poseedor de armas nucleares. Convenios amplios con la IAEA. Gestiona salvaguardias internacionales para impedir la proliferación de armas nucleares en estados no poseedores de tales artefactos. Principal agencia encargada de la seguridad de las instalaciones es la Nuclear Installations Inspectorate (NII, Dirección Nuclear). Protección radiológica a cargo del Servicio Nacional de Salud y la Agencia de Protección Ambiental.	Centrales de generación administradas por empresa privada, sometidas a las inspecciones de la NII y el Servicio Nacional de Salud para evaluación de cumplimiento de normas y emisiones de material radiactivo al ambiente. Adhiere a todas las normas internacionales acerca de radiaciones a la población y al ambiente.	La aceptación pública de construcción de nuevos reactores sufrió un fuerte cambio desde un 20% de apoyo y un 60% de oposición en julio del 2001, a 41% a favor y 28% en contra en noviembre del 2005, llegando a un 65% de apoyo de nuevas construcciones a fines del 2007. A julio del 2007 el apoyo político a nuevos reactores de los Representantes se había fortalecido, tanto entre los Laboristas como entre los Conservadores, con un apoyo de un 72%, mientras que la oposición llegó a un 23%.

República Checa	La República Checa ha tenido una muy activa cooperación con un gran número de organizaciones internacionales, siendo miembro del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), la Agencia de Energía Nuclear de la OECD (NEA) y la EURATOM de la Unión Europea, además de otras organizaciones multilaterales como la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO) y la Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA)	La República Checa participa en el programa de cooperación técnica de la IAEA y en el programa nuclear PHARE de la Unión Europea. La seguridad nuclear ha sido el principal foco del programa de cooperación nacional de la IAEA con el país. Éste ha estado enfocado en una variedad de tópicos técnicos relacionados con la operación de los reactores VVER, tales como: la integridad del circuito primario, la inspección operativa, la operación de la planta y el mantenimiento, el desarrollo de un enfoque de capacitación sistematica (SAT, en inglés), el uso de una metodología de evaluación global de seguridad y el análisis e implementación de retroalimentación operacional. El IRRT (Equipo Internacional de Evaluación Regulatoria de la IAEA) llevó a cabo una completa inspección y evaluación de la SÚJB en junio de 2001, con el fin de evaluar la efectividad y competencia de las instituciones de regulación nuclear en el país. La República Checa participa también activamente del programa regional de cooperación técnica para Europa, que trata principalmente acerca de: integridad del circuito primario, manejo de desechos nucleares, seguridad en reactores nucleares, harmonización de prácticas de PSA (*Probabilistic Safety Assesment*, en inglés), fortalecimiento de las capacidades de evaluación en seguridad y preparación para emergencias.	A Junio de 2008, un 64% de los encuestados en la República Checa se declara firme o medianamente a favor de la producción de energía eléctrica en centrales nucleares. Este porcentaje, comparado con las encuestas realizadas en 2005 por la Eurostat, muestra un aumento de un 3% durante estos últimos 3 años. El país muestra uno de los más altos índices de apoyo a la energía nuclear de la Unión Europea, siendo solamente igualado por Lituania y seguido muy de cerca por Suecia, Eslovaquia, Finlandia y Hungría. Otros estudios realizados por la agencia STEM en la República Checa señalan que en 2007 un 59% de los encuestados se declara a favor de la energía nuclear.

Suiza	En conjunto con miembros del WENRA firmaron para incluir en su legislación, para el año 2010, los Safety Reference Levels (SRLs). Los SRLs definen los niveles de seguridad para las instalaciones nucleares en Europa, los cuales ya han sido adoptados en gran mayoría por las centrales suizas. El Acta dispone que el HSK tenga facultades ilimitadas para acceder a la revisión de las instalaciones. - Safeguards and Protection against Sabotage of Nuclear Facilities Section (SK) of the Swiss Federal Office of Energy (BFE): autoridad supervisora de la seguridad nuclear y garantías. Suiza está representado frente la OECD/NEA por la HSK. Al mismo tiempo, se vincula con el comité de regulación de actividad nuclear, de seguridad de instalaciones nucleares, protección radiológica y salud pública, y de manejo de residuos nucleares. Al mismo tiempo, la HSK es parte de la toma de decisiones y en equipos de la IAEA (en estándares de seguridad, transporte, manejo de residuos). También participa activamente en WENRA (Western European Nuclear Regulators` Association), NRWG (Nuclear Regulatory Working Group of the European Commission) y la NERS (Network of Regulators of Countries with small Nuclear Programs).	Las plantas nucleares suizas han desarrollado una administración basada en la calidad, enfocado en estándares y lineamientos internacionales, tales como las "IAEA Safety Series 50-C/SG-Q: Quality Assurance for Safety in NPPs and other Nuclear Installations". Todas las centrales han implementado un sistema de administración integrado y están certificados ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001. Al mismo tiempo, todos los sistemas administradores de las centrales están acorde a los nuevos requerimientos de la IAEA GS R-3: "Management Systems for Facilities and Activities".Basado en las recomendaciones de la Comisión de Protección Radiológica (ICRP), el Acta de Protección Radiológica suiza y la Ordenanza de Protección Radiológica (1994), el HSK ha ido modificando la legislación paulatinamente para mejor la cobertura de estas legislaciones.	En el 2003, la ciudadanía rechazó dos propuestas anti-nucleares – que proponían suspender la energía nuclear hasta el 2014 – a través de una encuesta (llevada a cabo por ATEL) y dio pie a considerar la construcción de dos nuevas centrales para el 2020. la tendencia ha sido creciente en aquellos que consideran que las plantas nucleares son una opción necesaria para el suministro de energía en Suiza, llegando a ser un 70% en la actualidad.

Corea del Sur	Corea del Sur es un estado de armas no-nucleares y es parte en el NPT de armas nucleares. MOST administra esas responsabilidades tal como se indica en la Declaración de Política de Seguridad Nuclear. En el año 2000 se crearon enmiendas a la AEA orientadas a fortalecer la seguridad nuclear.	La regulación de la seguridad nuclear y la investigación y desarrollo en esta área es responsabilidad de la Comisión sobre Seguridad Nuclear (NSC), que es presidida por el Ministro de Vicia y Tecnología (MOST). Bajo MOST, el instituto coreano de seguridad nuclear (KINS) cumple el papel de regulador experto en seguridad (WNA 2008d). Corea del Sur es parte de la convención en seguridad nuclear y otras convenciones del IAEA. La Korea Hydro and Nuclear Power Company es parte de WANO.	49% de la población apoya la energía nuclear como forma de generar electricidad.

España	El CSN realiza el seguimiento y el control del funcionamiento de las instalaciones nucleares españolas. El seguimiento se lleva a cabo por dos vías: evaluación de la información que se recibe sobre las instalaciones y realización de visitas de inspección, y evaluación de las actas de las mismas. La legislación española establece que existen entidades especializadas que realicen funciones de protección radiológica en las instalaciones nucleares y radiactivas o que asesoran a los titulares de estas instalaciones. Las entidades disponibles son los Servicios de Protección Radiológica (SPR), las Unidades Técnicas de Protección Radiológica (UTPR) y las empresas de venta y asistencia técnica. Existen con el objetivo de mejorar la situación de las instalaciones nucleares españolas, en lo que se refiere a protección radiológica de los trabajadores, del público y del medio ambiente. Son un apoyo al CSN en el cumplimiento de sus funciones: permiten controlar indirectamente diversos aspectos del funcionamiento de las instalaciones tales como compras, verificaciones de equipos y fuentes radiactivos, dosimetría del personal, gestión de residuos o procedimientos y prácticas de protección radiológica.	El principio básico de protección radiológico en que se basa este país es ALARA: "As Low As Reasonable Achievable". En 1992 España constituyó una Regulación sobre Protección a Radiación Ionizante (Decreto Real Nº 53) con el objeto de consolidar todas las reglamentaciones en un solo documento. Estas regulaciones tienen relación a provisiones técnicas y administrativas que deben tener instalaciones nucleares y radiactivas, además de regulaciones de seguridad nuclear. Se basan en las recomendaciones de la IAEA, NEA, ILO y WHO para medidas de protección básicas establecidas para personas que trabajan en instalaciones irradiadas, asi como también de la comunidad pertinente. También considera aspectos de supervisión médica, desechos radiactivos e inspección de las instalaciones y actividades que son potenciales sectores de irradiación. En España hay un control sobre las fuentes "huérfanas" (fuentes radiactivas sobre la que, o nunca ha habido o se ha perdido el control). El Real Decreto 229/2006 sobre el Control de fuentes radiactivas encapsuladas *de alta actividad y fuentes huérfanas*, sujeto a la reglamentación nacional la Directiva 122/2003/Euratom, establece requisitos para conseguir, un estricto control de las fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad durante todo su periodo de vida, desde su fabricación hasta su correcta gestión al final de su vida útil, además de hacer frente a los riesgos que plantea la existencia de las fuentes huérfanas, estableciendo los cauces conducentes a su detección y recuperación del control sobre ellas.	La encuesta realizada por el Instituto Elcano publicada en Julio del 2006 dejó en evidencia una clara división entre simpatizantes y opositores frente a la energía nuclear (55% y 41% respectivamente). Un 47% de la gente con educación se mostró a favor y la gente con tendencia de derecha con un 55% tiende a oponerse a la energía nuclear. El sector opositor es férreo en su opinión. Por su parte, el sector simpatizante considera la energía nuclear como una manera de disminuir la dependencia energética de España del petróleo e importaciones de gas.

Suecia	En Suecia toman dos grandes medidas de seguridad este sentido existen dos grandes medidas: aseguramiento y verificación de la seguridad en las centrales nucleares. El aseguramiento se realiza a través de Reportes de Seguridad, Métodos probabilísticos, *Periodic Safety Reviews* (PSR), Programas de Seguridad y Mantención Preventiva. La verificación se realiza a través de Vigilancia, Inspección *in-service,* Mantención preventiva y Revisiones de Seguridad realizada por dueños y pares. La principal regulación en torno a protección radioloógica lo dicta el SSI en la regulación SSI FS 2000:12, la cual está activa desde inicios del 2002. Las principales indicaciones tienen relación con los límites de radiación (SSI FS 1998:4), donde el propietario de la licencia debe reportar anualmente que no se exceden las exposiciones de radiación, en especial a aquellos más expuestos (grupo crítico). También establece la obligatoriedad de realizar un monitoreo medioambiental (establecido por el SSI).	En cuanto al aseguramiento de seguridad los dueños de licencia utilizan: a.- Reportes de Seguridad, que son documentos sobre medidas de seguridad y que finalmente debe aprobar el SKI. También deben actualizarse sobre los nuevos códigos y estándares de seguridad que se estén exigiendo en Suecia. Buscar asesoría para implementar los nuevos estamentos y requisitos. Finalmente, tomar las decisiones para aplicar requerimientos específicos para las instalaciones. b.- Métodos probabilísticos para entregar estudios básicos de seguridad. *c.- Periodic Safety Reviews* (PSR): por lo menos debe realizarse uno cada diez años. Debe incluir 15 áreas de seguridad, tal como lo establece el SKI (esta medida fue como consecuencia del accidente de Three Mile Island). d.- Programas de Seguridad: dictada por regulación del SKI (SKIF2004:1), y considera prioridades y calendarios para la revisión de las instalaciones. e.- Mantención Preventiva: estas deben ser realizadas de forma predictiva, periódica y planificada. La verificación de la seguridad se realiza a partir de: a.- Vigilancia: establecen con qué frecuencia deben realizarse pruebas o tests que verifiquen que los componentes y sistemas estén operativos. b.- Inspección *in-service:* implica realizar un control a nivel general, técnico, de calidad y en el mismo funcionamiento (establecido por el SKIFS2005:2). c.- Mantención preventiva. d.- Revisiones de Seguridad. e.- Revisiones de Seguridad realizada por pares.	En junio del 2008, un 82% aceptaba la energía nuclear bajo dos escenarios: un 40% se mostraban a favor de expandir la capacidad de generación de las centrales nucleares, y un 42% estaba a favor de continuar con las centrales actuales y no construir más en el futuro. Asimismo, personas asesoradas personalmente (18%) dijeron en noviembre del 2007 que se habían mostrado positivos respecto a la energía nuclear, mientras que un 8% eran más negativos. Estos datos pueden ser correlacionados a que un 14% de ellos pensaban que la energía nuclear era una fuente de CO2 importante y con alto impacto en el medioambiente.

País	Gestión de Desechos Radioactivos
Canadá	La Gestión de Adaptación Gradual (APM) ha sido seleccionada por el gobierno canadiense para la gestión de los residuos del combustible nuclear. Fase 1 incluye la selección del sitio. Fase 2 incluye la elaboración de una instalación de almacenamiento centralizado y demostración de tecnología. Fase 3 implica la contención y aislamiento a largo plazo en un servicio centralizado de depósito geológico profundo. El NMWO es responsable de la aplicación de la APM, con sujeción a las aprobaciones reglamentarias. Residuos de bajo nivel provenientes de la energía nuclear se almacenan actualmente en el sitio del reactor. A la fecha no se ha decomisionado ninguna planta nuclear. La CNSC aprobaría dichos planes bajo la Acta de Seguridad y Control Nuclear.
Estados Unidos	Residuos de alto nivel (HLW) son provenientes principalmente del combustible nuclear (SNF), utilizado en reactores de potencia y los residuos transuránicos (TRU) surgen de la defensa y operaciones relacionadas con las instalaciones. Los residuos de bajo nivel (LLW) resultan de las operaciones del reactor, y de los usos comerciales de los radioisótopos. En lo que respecta a la eliminación de desechos nucleares, las agencias federales son responsables de la siguiente manera: • SNF y HLW: DOE es el responsable de la gestión de SNF y HLW, y del diseño, construcción y operación de un depósito geológico; NRC es responsable de la elaboración de criterios y requisitos técnicos; y la EPA es responsable de la promulgación de las normas de protección radiológicas para la salud pública y medio ambiente • TRU: DOE es el único responsable de la eliminación de los residuos TRU. • LLW: DOE es responsable y realiza la mayor parte de las actividades de gestión de residuos de los LLW generados como resultado del desarrollo de la tecnología y programas de armas nucleares del gobierno de EE.UU.; NRC es responsable de regular la seguridad de las actividades del sector privado. Alguna autoridad regulatoria de la NRC, que incluye la gestión y eliminación de residuos LLW, puede ser cedido a los 50 estados de los EE.UU., en el marco del Acuerdo del Programa de Estado; la EPA es responsable de la regulación de los componentes peligrosos de residuos mixtos; y en virtud de la Ley de Modificaciones de la Política de LLW, cada Estado es responsable de proporcionar, por sí o en cooperación con otros Estados, la eliminación de los LLW comerciales. • Relaves de uranio: DOE, es el responsable de la rehabilitación de las antiguas instalaciones de recuperación de uranio, incluyendo la construcción, operación y cierre de instalaciones de eliminación de residuos; NRC es responsable de la elaboración de criterios técnicos y requisitos de concesión de licencias para instalaciones de recuperación de uranio, y la EPA es responsable de hacer cumplir las normas de aplicación general para proteger a la población y el medio ambiente de las emisiones de material radiactivo de las instalaciones de recuperación de uranio.

Finlandia	La Ley de Energía Nuclear establece que los residuos radiactivos generados en Finlandia se manipulan, almacenan y eliminan de manera permanente en Finlandia. El MEE ha publicado un calendario a largo plazo para la aplicación y gestión de los residuos nucleares. Posiva Oy, establecido por Fortum y TVO, tiene la intención de almacenar combustible nuclear gastado a una profundidad de 400 a 500 m en roca. Actualmente, el combustible nuclear gastado se almacena en piscinas de almacenamiento situados en las plantas. Residuos de bajo y mediano nivel se gestionarán en un repositorio construido a 110 m de profundidad en roca
Francia	ANDRA y generadores de desechos han elaborado e integrado conjuntamente un sistema de gestión de residuos que abarque todas las fases de tratamiento de residuos y el estado, transporte, almacenamiento y eliminación de estos. Los principales objetivos son: • Separación y transmutación de elementos radiactivos de larga vida en HLW y ILW • Una instalación de almacenamiento geológico de recuperación de HLW y/o ILW con una solicitud de licencia presentada por ANDRA en el año 2015 y, con sujeción a la licencia, comisionar el repositorio para el año 2025 • En lo que respecta al almacenamiento de HLW y/o ILW, el establecimiento de una nueva instalación o modificación de las actuales instalaciones para el año 2015 para satisfacer las necesidades futuras.

Reino Unido	Durante 2002, el Gobierno anunció un programa para decidir la mejor manera de manejar los residuos sólidos, de alta actividad en el largo plazo. Bajo esta iniciativa, un nuevo ente independiente, el Comité de Manejo de Residuos Radiactivos (CoRWM), ha sido formado para supervisar una revisión de las opciones para el manejo a largo plazo de estos residuos, y para recomendar estrategias a los ministerios para el 2006. Se espera que el CoRWM interactúe intensivamente con la comunidad y los grupos accionistas antes de entregar a sus recomendaciones. En su White Paper, "Manejando el Legado Nuclear", el Gobierno anunció un cambio mayor en la preparación de la limpieza nuclear financiado por las arcas públicas. El White Paper propuso una nueva autoridad, la Autoridad de Decomisionamiento Nuclear (NDA), para hacer frente a la responsabilidad histórica que es financiada por quienes pagan impuestos. La nueva NDA asumirá la responsabilidad de todos los sitios actualmente operados por BNFL y UKAEA. La Estrategia del Reino Unido para Descargas Radiactivas 2002-2020 fue publicada con el fin de alcanzar reducciones progresivas y sustanciales de descargas radiactivas y de límites de descarga para alcanzar los compromisos del Reino Unido bajo la Convención OSRAP. La mayoría de los LLW son almacenados en repositorios cercanos a la superficie, operados por BNFL en Drigg, Cumbria. Un repositorio para LLW en el sitio de la UKAEA Dounreay alcanzó su capacidad. Un estudio de evaluación de opciones está siendo llevado a cabo para determinar la mejor manera de manejar los LLW del sitio Dounreay en el futuro. La mayoría de los ILW son almacenados in situ donde fueron producidos. Han aumentado alrededor de dos tercios (con el volumen como base) en el sitio Sellafield de BNFL. Hay un creciente interés en colocar los residuos en una forma pasivamente segura, serán ubicados en un almacenamiento provisorio hasta que una opción final de manejo a largo plazo sea identificada e implementada bajo el programa de "Manejo de Residuos Radiactivos Seguro". Los HLW provienen del reproceso del combustible nuclear agotado. En 2001 cerca del 90% del inventario existente en el Reino Unido se encontraba en Sellafield. Los HLW del reproceso aparecen en forma líquida y posteriormente son sometidos a condiciones de manejo a largo plazo mediante la vitrificación. La política actual del Reino Unido dice que los residuos vitrificados deben ser almacenados por al menos 50 años para permitir que el calor decline de manera de hacer el manejo a largo plazo menos complejo. Otro tema con el que el comité independiente CoRWM trata es con la identificación en el tiempo de algunos inventarios existentes en el Reino Unido de combustible agotado, plutonio y uranio que sean propensos a ser considerados residuos en los siguientes cien años y desarrollar propuestas para su manejo en el largo plazo. Las autoridades competentes son NII: El Inspectorado de Instalaciones Nucleares regula el manejo de los residuos radiactivos en los sitios nucleares, incluyendo las instalaciones de almacenamiento; NDA: La Autoridad de Decomisonamiento Nuclear será responsable de los sitios actualmente manejados por BNFL y la Agencia de Energía Atómica del Reino Unido.

República Checa	Los residuos nucleares en la República Checa se derivan principalmente de las dos plantas de energía nuclear, con un total de 6 reactores, y de un pequeño reactor de investigación. Los residuos radiactivos de baja actividad, derivados de las actividades mineras del uranio en la República Checa, es otro tipo de residuos que se genera en el país. Un depósito de residuos de LILW-SL, generados en las centrales nucleares de Dukovany y Temelin, se encuentra en la central nuclear de Dukovany. Ambas centrales nucleares tienen instalaciones de almacenamiento de los desechos acuosos e instalaciones de tratamiento de los desechos sólidos. Los LILW-LL, generados en las centrales nucleares, se almacenan en cada una de las centrales para su eventual eliminación prevista en un depósito geológico profundo. De conformidad con la Ley Atómica, el combustible nuclear consumido no es considerado un residuo radiactivo en la República Checa. Sin embargo, CEZ, el propietario de las dos centrales nucleares, o la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear, decidirá en el futuro la posibilidad de reprocesar el combustible consumido o desecharlo como residuo, sin reprocesamiento. Actualmente, el combustible nuclear gastado de la central nuclear de Dukovany se almacena en el lugar en una instalación de almacenamiento provisional en barriles de doble finalidad (transporte y el almacenamiento) CASTOR 440/84. Esta instalación fue creada en el 1997. Una instalación para el almacenamiento de combustible nuclear consumido, en la central de Temelin, está previsto que se complete después del 2009. En la República Checa, la recolección, transporte y almacenamiento de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado se lleva a cabo por empresas privadas. La organización de propiedad del Gobierno, Radioactive Waste Repository Authority (RAWRA) es responsable de la eliminación de los residuos radiactivos y del futuro tratamiento y eliminación del combustible nuclear gastado. La Ley Atómica del país establece que el generador de los residuos radiactivos se encarga de todos los gastos relacionados con la gestión de los residuos radiactivos durante todo su ciclo de vida. La eliminación de residuos radiactivos y el tratamiento y eliminación del combustible nuclear gastado es responsabilidad de RAWRA. El generador de los residuos paga por estos servicios en forma de pagos a una cuenta nuclear. La cuenta nuclear, que está controlada por el gobierno y administrados por RAWRA, se utiliza para diversas actividades especificadas en la Ley Atómica. Las autoridades competentes en el tema de manejo de residuos nucleares son: **SIAL**: La organización de la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear es responsable de la seguridad nuclear y la protección radiológica. **RAWRA:** La empresa del gobierno Radioactive Waste Repository Authority es responsable de la eliminación de todos los residuos radiactivos, incluido el tratamiento y la eliminación del combustible nuclear gastado. **CEZ:** es una compañía privada que posee y opera las plantas de energía nuclear de Dukovany y Temelin.

Suiza	Una ***Ley de Energía Nuclear*** fue aprobada por el Parlamento en 2003. Sus consideraciones principales incluyen: Una moratoria de 10 años en el reprocesamiento de combustible nuclear agotado, a contar de 2006; que la responsabilidad en el manejo y eliminación de residuos nucleares recae sobre los productores de residuos nucleares; el Estado se hace responsable del manejo de residuos radiactivos de hospitales, industrias e investigación; la eliminación de todos los residuos radiactivos debe ser realizada en repositorios geológicos; un referéndum nacional opcional está planificado en conexión con las licencias generales para repositorios; asegurar que existen suficientes fondos disponibles para financiar el decomisionamiento y la eliminación de residuos. Con propósito de planificación, un modelo de inventario de residuos (***MIRAM***) para todos los residuos derivados esperados o proyectados ha sido desarrollado. Además, los operadores de las plantas de potencia y de los repositorios de Suiza, en conjunto con la ***Cooperativa Nacional para la eliminación de Residuos Radiactivos*** (***NAGRA***), han desarrollado una base de datos electrónica común, ***ISRAM***, la que incluye una descripción detallada de todos los paquetes de residuos y sus contenidos, La mayoría de los residuos radiactivos en Suiza son derivados de la producción de electricidad nuclear. Los residuos de nivel bajo e intermedio (LILW) consisten en residuos operacionales de plantas de potencia nuclear, residuos de hospitales, residuos de industrias e investigación, residuos tecnológicos de bajo nivel originados en el reprocesamiento de combustible agotado, y residuos del decomisionamiento y desmantelamiento de plantas de potencia nuclear y de instalaciones de investigación. Cada planta de potencia nuclear tiene una instalación in situ para el almacenamiento de los LILW que generan. Un repositorio central, ***ZWILAG***, ubicado en Wuerlingen, posee una sala de almacenamiento seco con capacidad para 200 toneles de combustible agotado vitrificado de HWL y un edificio de almacenamiento para los ILW. El concepto de manejo de residuos nucleares en Suiza contempla dos tipos de repositorios, uno para los LILW y otro para elementos del combustible agotado no procesado, residuos de nivel alto e ILW de larga vida. El Fondo de Decomisionamiento fue establecido en 1984 para cubrir los costos de decomisionamiento y desmantelamiento, y condiciona el transporte y eliminación de todos los residuos resultantes. Las autoridades competentes en materia de manejo de desechos nucleares son: **AGNEB:** El Grupo de Trabajo Interdepartamental para el Manejo de Residuos Radiactivos. **KSA:** La Comisión Federal para la Seguridad en Instalaciones Nucleares. **HSK:** El Inspectorado Federal para la Seguridad Nuclear. **KNE:** La Comisión Federal de Manejo de Residuos Radiactivos. **NAGRA:** La Cooperativa Nacional para la eliminación de Residuos Radiactivos es responsable de los preparativos de la eliminación de todas las categorías de residuos radiactivos.

Corea del Sur	Elementos claves de las políticas de gestión de residuos incluyen: • Residuos de bajo nivel deberían ser reducidos al mínimo, y los residuos deberían ser administrados en los sitios de los reactores nucleares hasta la disponibilidad de una instalación de eliminación, que está prevista ser finalizada a finales del 2008. • El combustible gastado se deben almacenar en los lugares de los reactores hasta el año 2016, con la posible expansión de la capacidad de almacenamiento in-situ. Una instalación centralizada de almacenamiento provisional para el combustible gastado se espera que esté terminada para el 2016. KPNH es responsable de la gestión de residuos radiactivos y la eliminación y asociados de I+D. KAERI lleva a cabo la I+D relacionados con la gestión de residuos de alto nivel.

España	La mayoría de los residuos radiactivos en España se generan de la operación y el desmantelamiento de las centrales nucleares y, en cantidades más pequeñas, de la fabricación de combustible nuclear. El combustible nuclear gastado se encuentra actualmente en almacenamiento en las propias centrales. El Gobierno establece las directrices generales de la política nacional sobre la gestión de los residuos radiactivos y combustible nuclear gastado a través del ***Plan de Dirección General de Residuos Radiactivos***. La organización nacional de gestión de residuos de España, ENRESA, opera como una compañía privada. Anualmente, ENRESA elabora una versión del ***Plan General de Residuos Radiactivos***. Este ***Plan*** hace propuestas para las estrategias y principales actividades que se llevarán a cabo por ENRESA. Las principales áreas de responsabilidad de ENRESA incluyen: manejo, tratamiento y condicionamiento de desechos radioactivos; diseño del sitio, construcción y operación de almacenamiento centralizado e instalaciones de eliminación; preparar los sistemas necesarios para la recolección, transferencia y transporte de desechos radioactivos; clausura y desmantelamiento de instalaciones nucleares; acondicionamiento de la minería del uranio y de los relaves, según sea necesario; apoyo a los servicios de protección civil en casos de emergencia nuclear. Según el ***Plan General de Residuos Radiactivos***, la estrategia para la gestión interina del combustible gastado y HLW consiste en almacenamiento en el lugar en las centrales eléctricas. Más concretamente, la estrategia implica: un aumento en la capacidad de almacenamiento de combustible consumido de las piscinas del reactor, en la medida de lo posible; proveer capacidad de almacenamiento adicional utilizando barriles, que incluye la construcción de un almacén de depósito temporal (en funcionamiento en la central nuclear de Trillo desde 2002); construcción de una instalación centralizada de almacenamiento provisional para el año 2010 con el fin de acomodar los HLW. Esta instalación también se utiliza para almacenar temporalmente otros desechos que no pueden ser eliminados en el depósito de residuos cercano a la superficie de El Cabril, así como de combustible agotado que no puede ser alojado en las centrales nucleares debido a la falta de capacidad en las piscinas del reactor. El ***Plan*** establece además que una estrategia específica sobre el eventual destino del combustible consumido y de los HLW se finalizará antes del 2010. Mientras tanto, las siguientes actividades están en marcha: no se llevaran a cabo más estudios geológicos hasta que una estrategia esté finalizada; mientras tanto, los datos geológicos existentes se utilizarán para la evaluación de un posible repositorio geológico profundo para la eliminación del combustible consumido y de los HLW; los diseños conceptuales sin sitio específico para un repositorio geológico profundo en granito, arcilla y sal serán modificados para evaluar la capacidad de recuperar los desechos emplazados; la evaluación del desempeño seguro de los depósitos geológicos profundos conceptuales incluirá la combinación de información geológica, diseño del repositorio y resultados de I+D. Estas evaluaciones proporcionarán información para la optimización de diseños de repositorios y otros asuntos relacionados.

Suecia	Desde principios del 1970, la política Sueca sobre gestión de residuos radiactivos se ha centrado en la búsqueda de un método de eliminación de residuos de combustible nuclear consumido. Suecia ha optado por el depósito directo del combustible nuclear consumido. Actualmente, todo el combustible consumido se envía a la instalación de CLAB para el almacenamiento (almacenamiento en agua con una capacidad de 8000 toneladas de metal pesado) hasta su eliminación. La Compañía Sueca de Gestión Nuclear y de Residuos de Combustible (SKB) es la responsable de llevar a cabo el trabajo de manejo de residuos. Los planes para los próximos años son seleccionar el sitio para el depósito, y solicitar la licencia para la construcción. La planta de encapsulación y el repositorio se prevé en funcionamiento para el año 2015. El programa sueco de gestión de residuos radiactivos comprende un sistema de transporte de residuos por mar, un repositorio de eliminación, SFR, para LILW, ubicado en la central nuclear de Forsmark, y una instalación centralizada de almacenamiento provisional, CLAB, para combustible nuclear consumido, en la central nuclear de Oskarhamm. SFR y CLAB son propiedad de SKB. Los planes Suecos para los repositorios de residuos son los siguientes. Un repositorio geológico profundo para el combustible consumido, el SFL-2, está previsto que se construirá en roca cristalina a una profundidad de 500 metros. Otros residuos de larga vida se almacenarán hasta que otro depósito previsto, el SFL 3-5, se construya en base rocosa a una profundidad de 300 metros. Un depósito para residuos de corta vida de desmantelamiento, el SFR-3, se desarrollará como una extensión del actual depósito de LILW de la operación del reactor, el SFR-1; la posibilidad de concesión de licencias de vertederos de desechos con muy bajo nivel de actividad también existe de acuerdo a la Ordenanza sobre Actividades Nucleares. Hasta el momento, Suecia sólo ha clausurado y desmantelado un número de pequeños reactores de investigación y laboratorios en Studsvik y en Estocolmo. El combustible consumido de estos reactores se almacena de manera provisional en espera de una decisión sobre su eventual destino. En lo que respecta a los reactores de potencia, el reactor PHWR Agesta se cerró en 1974 y está parcialmente desmantelado, y el reactor BWR Barsebäck fue apagado en 1999 y ha sido desprovisto de su combustible.

2.2 Comparación de Experiencias Internacionales por Tópico

2.2.1 Contribución Nuclear a la Matriz Energética

En la mayoría de los casos estudiados, la participación de la energía nuclear en la matriz energética respectiva, bordea entre el 30 – 40% de su capacidad. Salvo los casos de España, Canadá y los Estados Unidos, donde su participación no supera el 20% y el de Francia, donde representa la mayor parte de su matriz, con un 85% de representatividad. Por lo general en todos los países, existen estudios y planes para la instalación de nuevas plantas en el corto plazo. Cabe destacar el caso de los Estados Unidos, que después de haber prohibido la construcción de nuevas centrales nucleares, hoy cuenta con un plan para aumentar en más de un 60% su capacidad nuclear instalada.

2.2.2 Marco Legal e Institucional

Si bien, cada país cuenta con regulaciones específicas de acuerdo a la estructura social-política correspondiente, la orientación y responsabilidad de éstas, enfoca tres aspectos clave: el control de las operaciones, el control y gestión del combustible nuclear, y la gestión y control de las instalaciones.

- Control de las operaciones: todos los países estudiados cuentan con por lo menos una autoridad que versa sobre las responsabilidades y deberes de los operadores de las centrales nucleares. Estas controlan y velan primero, por el correcto funcionamiento de la central, segundo, por el bienestar y las condiciones de los trabajadores, y tercero, por el complimiento de las normas ambientales.
- Control y gestión del combustible: los países estudiados, cuentan con organismos encargados de la regulación, el control, el transporte y el almacenamiento seguro del combustible nuclear y sus residuos. Si bien muchos países integran responsabilidades en distintos organismos, en resumen se puede comentar que el aspecto más importante acá, es asegurar la no proliferación nuclear.

- Control de las instalaciones: existen regulaciones específicas de cada país, para el control, licenciamiento y gestión que se realiza en las instalaciones nucleares correspondientes. Por lo general son organizaciones encargadas de supervisar el cumplimiento de las regulaciones, y determinar qué tipo de sitios cumple los requerimientos para la instalación de un complejo nuclear.

2.2.3 Seguridad del Abastecimiento de Combustible

El suministro de combustible es muy variado entre los países estudiados, cabe destacar que sus condiciones actuales determinan por lo general la necesidad de importación de combustible, de países como Australia, Canadá, Francia, Reino Unido y Rusia, que por lo general ha dispuesto plutonio de armamentos nucleares para el enriquecimiento de combustible. Recordando que las etapas de la producción son, extracción y molienda en el área minera, la fabricación del concentrado de Uranio, enriquecimiento de la mezcla, y finalmente la fabricación de combustible, los países cuyas condiciones distan enormemente, adaptan su consumo gracias a la oferta mundial de todas estas actividades, que en la actualidad se rige por la exportación de pocos países licenciados en estos procesos, para el consumo de varios, que cuentan con plantas nucleares en la actualidad.

2.2.4 Rol del Gobierno en la Industria Núcleo-eléctrica

Propiedad

De los 10 países analizados la mayoría ha incentivado la inversión y cooperación de privados en los proyectos de energía nuclear. Si bien, muchos de ellos optaron inicialmente por un manejo estatal, con el tiempo se ha dado una tendencia a la incorporación de organizaciones ajenas al estado.

Los países que cuentan con sistemas público-privados son:

- Canadá, que tiene propiedad mediante gobiernos provinciales
- Finlandia, a través de las empresas Fortum y TVO, con 50% de propiedad del Gobierno

- Reino Unido, que en sus inicios optó por una administración estatal que fue incorporando a privados en el transcurso de los años. Se tiene planificado que a futuro toda la propiedad pase a manos de privados
- República Checa, con el consorcio público-privado CEZ
- Suiza, es propietaria mayoritaria a través de municipalidades y cantones, pero los operadores son privados. Axpo pertenece a los cantones del noroeste de Suiza. Otro consorcio público es ATEL
- Corea del Sur, donde los reactores son operados por la KNHP, la que en 1989 vendió 21% al público. El Gobierno mantiene especial interés sobre la KNHP y además se encarga de asegurar el suministro de combustible a través de la KNFC.
- España, que a partir de la segunda y tercera generación de reactores el Estado tuvo participación en la propiedad y operación.
- Suecia, con ASEA ATOM en la fabricación tecnológica donde posee 50% de propiedad y Vattenfal, donde es propietario mayoritario de las 2 centrales nucleares existentes (70,4% y 66%)

Hay otros países que en la actualidad han traspasado toda la propiedad a privados y su función en temas de energía nuclear se ha enfocado a otras áreas, este es el caso de Estados Unidos que no tiene propiedad sobre reactores de uso comercial.

El caso opuesto lo presenta Francia, donde el 100% de la propiedad está en manos del Gobierno.

Investigación y Desarrollo

Donde casi todos los países tienen un punto en común es en la participación del Gobierno en el área de Investigación y Desarrollo. Por lo general son instituciones como universidades, institutos y otros organismos creados por el Estado las que llevan a cabo estas funciones. Además el Gobierno se encarga de financiar la totalidad o parte de éstas. Ejemplo de ello son Canadá donde la AECL se encarga de estas funciones, financiadas principalmente por el Gobierno federal;

Estados Unidos donde son las universidades y la DOE las organizaciones designadas para realizar esta labor; Finlandia y el Technical Research Centre of Finland, administrado por el Ministerio del Trabajo y Economía; Francia, con la CEA, creada en 1945; Corea del Sur donde existe un instituto especializado en esto, llamado KAERI.

Manejo de desechos nucleares

Otro tema en el que se encuentran involucrados la mayoría de los Gobiernos es en el manejo de residuos radiactivos. No todos realizan actividades directas, pero si están involucrados en velar por la seguridad de su manejo, regular las prácticas que se utilizarán, entre otros. Por lo general los costos son traspasados a los operadores, que deben asegurar fondos suficientes para este ítem en el largo plazo.

2.2.5 Rol del Sector Privado en la Industria Núcleo-eléctrica

Los privados pueden estar involucrados en distintas actividades relacionadas a la energía nuclear. Dependiendo del país tienen participación en actividades mineras, inversiones, operación, investigación y desarrollo y manejo de residuos. De estos temas se habló implícitamente en el punto anterior, información complementaria se presenta a continuación.

Propiedad e iniciativas comerciales

- En Canadá, Bruce Power, que opera alrededor del 50% de los reactores planea el desarrollo de 8 nuevos reactores
- En el Reino Unido se ha privatizado gran parte de los servicios asociados a la energía nuclear
- En República Checa el Gobierna no entrega financiamiento y CEZ (con el 65% de propiedad) debe conseguirlo y de generar utilidades
- En Suiza lo que se encuentra en manos de privados es básicamente la operación y otros servicios relacionados a la energía nuclear
- En Corea del Sur la KNHP firmó un acuerdo de cooperación con Westinghouse para el diseño y posterior venta de reactores nucleares.

Además Doosan and Hyundai/Daewoo entraron al mercado de construcción y equipamiento de plantas nucleares

- En España los primeros reactores fueron netamente privados, luego el Gobierno participó en los de generaciones posteriores
- En Suecia el sector privado es propietario de un 54,5% de las compañías operadoras de las centrales nucleares suecas
- Francia deja en manos de Cogema gran parte del control de las actividades que requiere el ciclo de combustible

Investigación y desarrollo

El sector privado también participa activamente en la investigación y desarrollo de la energía nuclear, ya sea en temas de seguridad o regulaciones o fisión y fusión nuclear, entre otros. Pueden ser las mismas empresas las que cuenten con centros de investigación o puede ser que trabajen en conjunto con centros externos. Areva en Francia, TVO y Fortum en Finlandia, el Electric Power Research Institute (EPRI), creado en Estados Unidos por el sector privado, el financiamiento que entrega Bruce Power en Canadá, son algunos ejemplos de privados involucrados en el ámbito de la investigación.

2.2.6 Requerimientos de Recursos Humanos

Los proyectos de este tipo generan un gran número de puestos de trabajo, ya sea en tareas directas o indirectas. Dependiendo del grado de complejidad de la labor a realizar se va a necesitar mano obra calificada inclusive con entrenamiento científico. El nivel de mano de obra necesaria para llevar a cabo las actividades que implican un buen funcionamiento variará con la cantidad de potencia instalada en un país. Por ejemplo Canadá el año 2005, para una potencia de 12.767 MW, sostuvo 66.694 puestos de trabajo de jornada completa; la CEA en Francia contaba con 15.332 empleados en 2006; en el Reino Unido la actividad nuclear genera 50.000 empleos directos y 30.000 indirectos; en Corea del Sur se estimó que en el año 2004 los empleados en actividades relacionadas con la energía nuclear ascendía a 18.518.

Una central nuclear necesita entre 400 (Suiza) a 1.000 (República Checa) empleados fijos aproximadamente y adicionalmente una dotación variable que puede llegar a 1.000, como ocurre en España.

Los diferentes ámbitos que demandan mano de obra van desde la operación, construcción, diseño, servicio, investigación, soporte técnico, inspección, pasando por áreas de protección radiológica y preparación de emergencias, seguridad de los reactores, manejo de residuos y seguridad en el transporte, hasta asuntos internacionales y tareas administrativas, entre otras.

2.2.7 Seguridad y Protecciones

La mayoría de las naciones estudiadas se encuentran suscritas al Tratado de No Proliferación Nuclear (NPT), posean o no armas nucleares.

Para el resto de los factores de riesgo o que impliquen temas de seguridad, las naciones difieren en el tipo de protocolo, guías y organizaciones encargadas de su control. Los países por lo general cuentan con una mezcla nacional/internacional de normativas y entidades relacionadas con el ámbito de la seguridad nuclear

Por ejemplo Canadá, Estados Unidos y Suiza siguen normativas de la IAEA, pero los 2 últimos también involucran a entidades nacionales como la NRC y NMSS y la BFE, respectivamente.

2.2.8 Regímenes de Seguridad Nuclear y de Radiación

En esta materia además de las típicas organizaciones que se encuentran en proyectos de energía nuclear, IAEA, por nombrar algunas, se incluye la acción de organismos de salud para el control de radiaciones y su efecto sobre la salud humana.

Suiza, adicionalmente, ha optado por certificaciones del tipo ISO en sus líneas 9001 y 14001 además de la OHSAS 18001.

Un país que muestra especial cuidado en el nivel de radiaciones es España. Aplica el concepto ALARA (As Low As Reasonable Achievable) y en su legislación presenta una Regulación sobre Protección a Radiación Ionizante y El Real

Decreto 229/2006 sobre el Control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas, entre otros.

2.2.9 Actitud hacia la Energía Nuclear

Se aprecia que la aceptación de la energía nuclear para todos los países estudiados es al menos de 50%, excepto Corea del Sur donde el 49% de los entrevistados se muestra a favor.

Dentro de los países europeos el que presenta una mayor aceptación es Suecia con un 82% de los encuestados a favor de la energía nuclear. Lo sigue Suiza con 70% de aprobación y para el resto de los países, la comunidad apoya entre un 52 a un 65% la energía nuclear, según los estudios realizados.

En Norteamérica, Estados Unidos presenta un 70% de aprobación, mientras que Canadá alcanza sólo el 50%.

Un dato interesante es el de la tendencia al alza de aprobación de la energía nuclear en los países estudiados a lo largo de los años. Esto también ocurre al preguntar acerca de la posibilidad de implementar nuevos proyectos de generación de energía mediante energía nuclear.

Otro tema que parece tener relación con esta aprobación se debe al problema de emisiones de CO2 y su efecto en el calentamiento global, donde las plantas nucleares parecen ser percibidas como una solución factible por un porcentaje de la población.

2.2.10 Gestión de Desechos Radioactivos

En los casos de estudio presentados en este informe se aprecia que los desechos producidos son almacenados, tratados y/o eliminados dentro del país que los produce.

La práctica generalizada indica que los desechos de alta y media intensidad son o serán almacenados en repositorios geológicos a profundidades cercanas a los 500 metros. El resto de los desechos de baja intensidad se almacena o trata en el sitio del reactor.

El combustible agotado también suele ser almacenado in situ.

2.3 Evolución histórica por país

En esta sección se entrega una evolución histórica de alguno de los países analizados (información detallada de todos los países se encuentra en los anexos).

2.3.1 Reino Unido

Carácter y origen del programa

- Iniciado a comienzos de los años 50 por el Estado con fines estratégicos
- Primeros reactores grafito - U natural - CO2 de diseño local (Magnox) usados para producción de Plutonio para armas nucleares.
- Se incluye participación de privados en la industria nuclear.
- Reactores Magnox evolucionaron para generar electricidad además de producir Plutonio (Pu).
- Obtención de Pu exigió tempranamente programa de reprocesamiento.
- Empresa generadora estatal dedicada a la producción de núcleo electricidad mediante reactores Magnox.
- Uranio para combustible importado de Australia, Canadá y los EE.UU.
- Elementos combustibles fabricados en el país.

Evolución del programa en el tiempo

- Reactores Magnox se emplearon a niveles medios de potencia para producir electricidad
- Se traspasó a empresas generadoras regionales la administración de los reactores Magnox

- Se diseñó localmente y construyó reactores más avanzados AGR con fines de generación y no para producción de Pu
- Se aumentó la potencia de los AGR respecto a los Magnox
- Combustible para reactores AGR levemente enriquecido en el RU
- Se decidió la construcción del primer reactor PWR
- Se continuó con la producción de Pu para fines bélicos y con el reprocesamiento para ello
- Residuos nucleares de programas militares almacenados temporalmente en Selafield
- Se continúa importando uranio desde Canadá y Australia
- Elementos combustibles fabricados en el país
- Se crea British Nuclear Fuels (BNFL) empresa estatal administrada como empresa privada

Consolidación del programa

- Se construyó con tecnología francesa y diseño Westinghouse el primer y único reactor PWR Sizewell B.
- Se privatizó gran parte de las centrales generadoras, excepto las Magnox que siguen en poder del Estado.
- Se privatizó empresa British Energy que tiene la propiedad de los reactores AGR y Sizewell B.
- Se privatizó empresa de IyD con fines nucleares civiles.
- Se detiene reprocesamiento militar para producción de Pu.
- Se comienza reprocesamiento de combustible de reactores comerciales de

agua ligera.

- Se continúa con almacenamiento de desechos nucleares en Selafield.
- Se continúa importando uranio desde Canadá y Australia.
- Elementos combustibles fabricados en el país.
- Se operan experimentalmente reactores reproductores rápidos FBR.

Estado actual

- Se está desmantelando los últimos reactores Magnox que siguen en servicio.
- Se continúa con reprocesamiento comercial de combustible de reactores de agua ligera.
- Se privatizó empresas de gestión de sitios de almacenamiento de residuos nucleares.
- Se creó la Nuclear Decomissioning Authority para decomisionamiento de reactores, sitios, instalaciones y residuos nucleares.
- Electricité de France oferta por adquisición de British Energy, que es aceptado por Gobierno de R.U.
- Se continúa importando uranio desde Canadá y Australia.
- Elementos combustibles fabricados en el país.
- Gobierno sostiene públicamente fuerte apoyo al desarrollo de energía nuclear por motivos ambientales y de independencia estratégica.
- Se tiene contemplado la construcción de un repositorio geológico para el almacenamiento permanente de desechos nucleares de alta actividad.

2.3.2 República Checa

Carácter y origen del programa

- Se inicia en 1970 con la firma de un tratado de cooperación intergubernamental entre Checoslovaquia y la Unión Soviética.
- Esto sucede dos años después de la invasión soviética al país de 1968, y es visto como una medida compensatoria.
- Los seis reactores, de tipo VVER, se basan en diseños rusos, pero fueron fabricados localmente por Skoda.
- El país logra una gran producción de uranio en la década de los setenta, pero no realiza enriquecimiento.
- Hoy produce una pequeña cantidad de uranio e importa de Rusia y EE.UU. los elementos combustibles terminados.
- La empresa operadora de las centrales, era estatal y controlada directamente por el Partido Comunista.

Evolución del programa en el tiempo

- Se instalan en el país empresas nucleares soviéticas y comienzan a diseñar las centrales en conjunto con la industria local.
- Se encarga la fabricación de los cuatro reactores nucleares a Skoda, una empresa checa.
- La mayor parte de las piezas y equipos son fabricados dentro del país.
- En 1979 se decide la construcción de una segunda central, de mayor potencia.
- En este proyecto, el diseño es realizado casi íntegramente dentro del país.
- En 1985 terminan las obras principales en la central de Dukovany y

comienza su puesta en marcha.

- En 1989 el país se liberó del régimen comunista y detuvo la construcción de la segunda central.

Consolidación del programa

- El nuevo gobierno democrático desconfiaba de la capacidad técnica y política de los antiguos líderes.
- Somete al programa nuclear, y especialmente al proyecto en construcción, a una revisión exhaustiva.
- Se acuerda reducir el tamaño del proyecto de Temelín y cambiar los sistemas de control de ambas centrales.
- Westinghouse participa de estas auditorías y se adjudica la provisdión de los nuevos sistemas y el combustible.
- El Gobierno reforma la institucionalidad nuclear del país, adaptándola a las exigencias europeas occidentales.
- La central de Dukovany obtiene buenos desempeños de operación y seguridad.
- En 2000, entra en operaciones la central de Temelín.

Estado Actual

- La empresa CEZ, operadora de ambas centrales, cuenta hoy un 35% de su propiedad en manos de privados.
- La industria nuclear del país ha sido sometida con éxito a un gran número de auditorías e inspecciones.
- Persisten aún problemas operativos con la central de Temelín, que posee una factor de disponiblidad bajo.

- La energía nuclear cuenta con un gran apoyo de la población, el segundo más alto de la Unión Europea (67%).
- El Gobierno actual de centro-derecha está públicamente a favor de la energía nuclear.
- Se está evaluando una ampliación mayor de la central de Temelín, con el fin de agregarle 2000 MWe adicionales.

2.3.3 Suiza

Carácter y origen del programa

- **1945**: el Gobierno establece un Comité de Energía Atómica para tener al tanto al gobierno sobre material en torno a la energía nuclear.
- **1946**: investigación del desarrollo de armas nucleares por parte del Comité.
- El Gobierno tomó las medidas necesarias para proteger a la ciudadanía del impacto que esto pudiera tener.
- **1946:** La Orden Federal de este año da inicio al programa de investigación en el campo de la energía nuclear (con fines exclusivamente pacíficos).
- **1946**: BBC (ahora ABB) dio primeros pasos para crear un equipo de físicos para lanzar un programa de desarrollo de la energía atómica.
- BBC se unió más tarde a Sulzer Brothers y Escher-Wyss. Los primeros estudios fueron con un reactor de grafito-dióxido de carbono.
- **1952**: los estudios se concentraron en reactores moderados por agua pesada lo que concluyó en el desarrollo del reactor DIOTRIT.
- **1955**: más de 150 compañías privadas conformaron Reactor Ltda. con el fin de construir y operar el primer y único centro de investigación privado, llamado EIR (el cual el 1988 fusionado con el EIR crearon el Instituto Paul

Scherrer).

- **1957**: Suiza firma un estatuto de la IAEA. En 1977 firma un Tratado de No-proliferación.

- **1957**: fecha de inicio de la era nuclear en Suiza, cuando el reactor de investigación SAPHIR entró en estado crítico (bajo científicos del gobierno).

- Actualmente sigue su decomisionamiento y desmantelamiento.

- **DIORIT** fue el primer reactor diseñado y construido en Suiza, el cual era de agua pesada. Era alimentado con Uranio natural y por medio de un *loop* especial permitía probar elementos combustibles. DIORIT fue cerrado en 1977.

- **1962**: la construcción de un reactor experimental -Lucens (heavy-water moderated, carbon dioxide cooled reactor - localizado en una caverna subterránea, dio pie para que en Suiza se considerara finalmente la energía eléctrica como fuente energética.

- Dado los altos costos y complejidad del sistema, en 1965, NOK comienza la era del desarrollo de la energía nuclear en Suiza con la instalación de Beznau I (agua presurizada) y una complementación con Beznau II en 1972.

Evolución del programa en el tiempo

- En junio de 1957 se decidió que la energía nuclear estuvieran mayoritariamente a cargo de la Constitución de Suiza, con lo que dejaba a los cantones

- regionales con una responsabilidad acotada solamente al proceso de licenciamiento de las instalaciones nucleares.

- Los cantones no tienen responsabilidad en materia de seguridad nuclear y

se acotan a entregar licencias para las plantas.

- El desarrollo y la propiedad de la energía nuclear en Suiza no está monopolizada en el Gobierno.
- Hay un amplio desarrollo de la industria privada, quienes tienen mayor parte de la propiedad del sistema nucleo-eléctrico del país.
- En 1969 se dio inicio al primer reactor generador de electricidad comercial.
- Actualmente existen 5 plantas generadoras de electricidad, que representan el 40% del suministro eléctrico del país.
- Los primeros reactores fueron del tipo PWR (Beznau I y II) los cuales aún se encuentran operativos
- De las cinco plantas existentes 3 son PWR y las dos últimas (Leibstadt y Muehleberg) son de tipo BWR.
- Los dueños y operadores de las centrales son los responsables del manejo del ciclo del combustible nuclear y deben atenerse a la legislación correspondiente.
- El Uranio natural es proveído a través de contratos de largo plazo, joint-ventures y spot markets.
- El enriquecimiento lo realizan US, Rusia y la Comunidad Europea. Los elementos combustibles son manufacturados en US, Comunidad Europea y Rusia.
- También existe un centro de investigación nuclear en desarrollo con institutos y universidades del país.

Consolidación del programa

- En Suiza los referendum determinan el éxito o fracaso de muchas acciones

legales.

- En el caso de la energía nuclear, en 1990 se hizo un referendum en torno a la energía nuclear.
    - Se rechazó la moción de abandonar progresivamente la energía nuclear (52,9%)
    - Se aceptó una fase de congelamiento de planes nucleares por 10 años (54,6%)
    - Se aceptó que la Confederación promoviera planes de ahorros de energía (71%)
- El 2003, en un nuevo referendum la ciudadanía rectificó los dos primeros resultados expuestos.
- 2003: la población aceptó la nueva Acta de Energía Nuclear, la cual indica que:
- 1º : exclusividad del uso de la energía nuclear de forma pacífica
- 2º: importancia de la protección en contra de la radiación nuclear
- En Suiza se destaca la relevancia entregada a materia de seguridad y protección nuclear.

Estado actual

- La construcción de nuevas plantas aún es posible siempre y cuando utilicen la tecnología más avanzada.
- La decisión recae aún en el parlamento y está sujeta a referendum en caso de que la ciudadanía lo solicite.
- Para Suiza la energía núcleo eléctrica es fundamental lo cual se ha visto reflejado en el amplio apoyo a su mantención

- También hay un amplio consenso dado que la energía nuclear se ha transformado en el gran aliado del país para cumplir sus compromisos con el Tratado de Kioto.

- Es relevante destacar que para este país la seguridad y la protección radiológica son los aspectos más cuidados por el Gobierno

- Desde el año 2005 Suiza incorporó la importación de energía eléctrica a su red por lo cual indica que a futuro es muy probable una expansión en materia nuclear.

2.3.4 España

Carácter y origen del programa

- 1948: se forma la Junta de Investigaciones Atómicas.

- El Gobierno Militar de España apuesta por la investigación y desarrollo de la tecnología nuclear en el país, atraído por futuras aplicaciones militares y civiles.

- 1951: se crea la Junta de Energía Nuclear. Su objetivo esra concentrar la investigación y el desarrollo de esta tecnología en España.

- Se hace público el carácter que tenía la investigación en este campo.

- 1951 en adelante: la industria privada toma el rol principal en la infraestructura de las centrales nucleares.

- El Gobierno, a través de la JEN se dedica al estudio, planificación, fiscalización y control de éstas.

- La decisión estatal de promover el desarrollo de la industria núcleo-eléctrica, como sector estratégico de la economía dio a la empresa privada una gran seguridad al momento de invertir en el sector.

- El Estado participó activamente en la construcción de las c.n.de primera generación en el país (apoyo técnico y político: legislación y regulaciones de seguridad necesarias para la puesta en marcha y funcionamiento)

- En la segunda y tercera generación de c.n.el Estado sí participa en la propiedad y operación de ellas (a través de ENDESA, empresa estatal entonces).

- Respecto de la gestión de los residuos nucleares, es el Estado quien tiene y ha tenido el rol principal.

Evolución del programa en el tiempo

- 1980: se crea el CSN y el CIEMAT (fin de la JEN).

- 1972: se crea la Empresa Nacional de uranio. Centraliza toda la pequeña minería de uranio existente el país, dispersa entre la JEN y otros organismos.

- El Estado invita a las empresas operadoras y eléctricas del país a participar de un 40% de su propiedad (mantienen para sí el control ejecutivo).

- 1973: dada la crisis mundial del petróleo se encarga a ENUSA estudiar el suministro de Uranio para España.

- 1981: ENUSA elabora un plan de desarrollo para la minería del uranio (PNEIU, Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio).

- La compañía cierra el año 2000, cuando la mina de Saelices el Chico (Salamanca) cierra definitivamente sus operaciones.

- La industria núcleo-eléctrica española posee gran variedad de proveedores de tecnología nuclear, lo que ha permitido desarrollar experiencia práctica con diseños de reactor distintos.

- Las primeras tres centrales se construyeron bajo la modalidad de "llave en mano": la industria española tuvo una participación muy pequeña en la fabricación de componentes y piezas.

- Para la construcción de la segunda generación de centrales y especialmente en las últimas, sí se utilizó una gran cantidad de equipos y componentes de fabricación doméstica.

- Desde el año 2000 España no explota Uranio. Desde ese año importa su material.

- ENUSA Industrias Avanzadas S.A. (estatal), se encarga de la compra de uranio, su enriquecimiento y la fabricación del combustible nuclear para todas las centrales eléctricas españolas.

- 1983: cambio en el apoyo a la energía nuclear española. Se envía al Congreso de los Diputados el Plan de Energético Nacional, llaman a una moratoria nuclear. Fue aprobado en 1984 y paralizó 5 de las 7 obras de construcción de centrales nucleares. Además, retiraba de forma definitiva los permisos de construcción y operación a las empresas operadoras. A cambio de ello, consideraba ciertas compensaciones económicas.

Consolidación del programa

- El principal proveedor de tecnología nuclear fue Westinghouse Electric, que construyó 6 de esos reactores, todos de tipo PWR.

- General Electric construyó los dos de tipo BWR existentes, y la empresa francesa CEA construyó un PWR de tipo UNGG (Magnox francés)

- KWU-Siemens estuvo a cargo del PWR restante.

- Actualmente existen 8 reactores nucleares de potencia operativos en España, ubicados en 6 centrales nucleares repartidas en distintas regiones

del país

- Las centrales nucleares juegan un rol clave: sólo con un 8,5% de la potencia instalada total del país, se produce aproximadamente el 18% de la electricidad.

Estado actual

- Las importaciones energéticas alcanzan el 82% del consumo primario en España.
- En la actualidad, la propiedad de las centrales nucleares es privada y mayoritariamente española.
- Endesa S.A. e Iberdrola poseen la mayor parte de la capacidad instalada núcleo-eléctrica.
- España se suscribió al Protocolo de Kyoto. Para cumplir con las metas de emisiones, el Gobierno ha incentivado y subsidiado el desarrollo de las ERNC (Energías Renovables no Convencionales), con gran éxito.
- El Gobierno español ha determinado que la industria nuclear nacional no debe seguir expandiéndose.
- De hecho es explícito al indicar que se debe dejar espacio para que las ERNC cubran el crecimiento en la demanda en el mediano y largo plazo.

2.3.5 Suecia

Carácter y origen del programa

- En 1947 fue fundada la compañía AB Atomenergi, con el fin de investigar y desarrollar tecnología nuclear.
- Suecia contaba con una gran capacidad de generación hidroeléctica que no podría crecer mucho más.

- Toma como interés de Estado el desarrollo de la núcleo-electricidad, para mantener su independencia energética.
- Se construye un pequeño reactor de potencia, para suministrar de electricidad y calefacción un barrio de Estocolmo.
- No se desarrolla la minería del uranio, por lo que el país debe importarlo.
- Desde un comienzo, se opta por el desarrollo de tecnología nuclear propia.

Evolución del programa en el tiempo

- En 1964 comienza la construcción de Oskarshamn, la primera gran central nuclear de potencia del país.
- Se funda ASEA-Atom, que construye los reactores PWR para la primera central y 9 de los 10 existentes en Suecia.
- El Gobierno apuesta por la diversificación y ordena la construcción de un reactor BWR a Westinghouse.
- En la construcción y posterior operación de las centrales participan tanto el Estado como el sector privado.
- ASEA-Atom se dedica a la fabricación del combustible nuclear, pero el país no cuenta con servicios de enriquecimiento.

Consolidación del programa

- En 1974 llega al poder una coalición de centro que se declara "escéptica" de la tecnología nuclear.
- Cambia profundamente el rol del Gobierno en la industria, y comienzan a haber trabas legales.
- Se decreta la no carga de combustible, hasta presentar una solución al tema de los residuos radiactivos.

- Debido a ello, el país genera una excelente institucionalidad y tecnología para el manejo de residuos.
- Se permite la operación de las centrales, pero se congela cualquier proyecto futuro.
- El Estado lleva a cabo un cuestionado prebiscito, en donde se eleige descontinuar el uso de la energía nuclear.
- En 1985 entra en operación comercial el último de los reactores construidos en el país.

Estado Actual

- Los planes de eliminación de la energía nuclear toparon con grandes obstáculos técnicos, estratégicos y financieros.
- En 1999 se decretó el cierre de la unidad número 1 de la central de Barseback y en 2005 el de la planta completa.
- El plan de cierre y decomisamiento está detenido y existe un gran debate acerca del futuro de la energía nuclear
- El nuevo Gobierno que asumió el poder en 2006, ha cambiado la política de oposición por una de cooperación.
- Ello está en sintonía con la opinión mayoritaria de la población a favor de la tecnología nuclear.
- No se anticipa un aumento de la capacidad eléctrica nuclear en el mediano plazo, pero tampoco una disminución.

3 DESECHOS RADIOACTIVOS

3.1 Canadá

3.1.1 Contexto Energía Nuclear

Canadá opera cinco plantas de energía nuclear, que comprende 22 reactores PHWR (CANDU) con una capacidad neta total de 15 GW (e). Catorce son los reactores actualmente en operación y ocho están en espera de reparación. La generación de energía nuclear representa el 12,5% del total de la producción de electricidad del país, principalmente en Ontario, donde el 40% del total de electricidad producida en la provincia se obtiene a partir de la energía nuclear. Los reactores son operados por la Ontario Power Generation (20 reactores), Hydro-Quebec (1 reactor) y Nueva Brunswick (1 reactor).

En Canadá, el ciclo del combustible nuclear comprende la minería del uranio y el procesamiento, la fabricación de combustible nuclear y la producción de la energía nuclear, sobre la base de la tecnología CANDU. Canadá es el primer productor mundial y exportador de uranio, representando el ~32% del total de la producción mundial.

3.1.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos

En Canadá, los residuos radiactivos se generan a partir de la minería y el procesamiento del uranio, la fabricación de combustible nuclear, el funcionamiento de los reactores nucleares, y la fabricación y el uso de radioisótopos. Los desechos radiactivos se dividen en tres categorías principales: residuos de combustible nuclear, residuos radiactivos de bajo nivel, y las minas de uranio y los relaves de la molienda.

Residuos del combustible nuclear (NFW): se refiere a los paquetes de combustible nuclear desechados desde los reactores de potencia CANDU y de reactores de investigación y producción de isotopos. No hay planes para reciclar y reprocesar el combustible consumido retirado de los reactores nucleares. Por lo tanto, es descrito como residuos de combustible nuclear y los planes actuales se basan en su gestión a largo plazo como un residuo. Ontario Power Generation

(OPG) es la mayor empresa privada nuclear con 12 reactores, junto con Bruce Power, en Ontario, que arrendaba la generación de energía nuclear de la estación Bruce perteneciente a OPG en 2001 por un período de 18 años. Tiene 6 de los 8 reactores de este sitio en funcionamiento. New Brunswick Power e Hydro-Quebec, ambos de propiedad privada, operan un reactor cada uno. Juntos, las cuatro empresas generan, sobre una base anual, unos pocos cientos de metros cúbicos de residuos de combustible nuclear a partir de la operación de estos reactores. Además, una pequeña cantidad de residuos de combustible nuclear proviene de los reactores de investigación y de producción de isótopos de Atomic Energy of Canada Ltd (AECL), una corporación de propiedad del gobierno, así como de reactores de investigación en funcionamiento en las universidades. El combustible nuclear gastado se almacena en el sitio en piscinas o en silos secos.

Residuos de bajo nivel (LLW): Comprende todas las formas de los residuos radiactivos, excepto los de combustible nuclear y los residuos de minas de uranio y los relaves de la molienda. Los BNR se dividen en dos grandes categorías:

- Los residuos de las actividades en curso donde un propietario o productor sigue siendo responsable de su gestión.
- Los residuos de las actividades históricos donde no existe propietario o productor para asumir la responsabilidad de ellos, dejando al gobierno como administrador de los residuos.

Los LLW en curso están siendo producidos actualmente por los reactores nucleares de Canadá, procesamiento de combustible nuclear y fabricación de instalaciones, y a partir de la investigación médica y el uso industrial de isótopos. Residuos operacionales del reactor constituyen la mayor parte de estos residuos, y esta tendencia continuará hasta el comienzo del desmantelamiento importante de instalaciones nucleares. Los LLW históricos (o el legado) consisten principalmente de residuos de procesos y materiales contaminados mezclados con el suelo. Es generalmente de baja o muy baja actividad, pero representa la mayor parte del inventario de LLW de Canadá (en base a volumen).

Las minas de uranio y los relaves de la molienda: La mayoría de las minas de uranio y los relaves de la molienda se encuentran en las provincias de Ontario y Saskatchewan. Debido a sus grandes volúmenes, los relaves generalmente son decomisionados cuando se depositan. Esto es típicamente en minas que se han acabado, minas a rajo abierto que han sido diseñadas para crear instalaciones de manejo, o en los estanques de relave sobre tierra.

3.1.3 Políticas de Gestión de Residuos

El Gobierno de Canadá anunció su ***Marco Normativo para los Residuos Radiactivos*** en 1996, sentando las bases para el ulterior desarrollo de los arreglos institucionales y financieros necesarios para la ejecución de la gestión a largo plazo de residuos radiactivos.

La ***Organización de Gestión de Residuos Nucleares (NWMO)*** fue creada por la industria nuclear en 2002 bajo los auspicios la ***Ley de Residuos de Combustible Nuclear (NFWA)*** del gobierno para investigar las opciones para la gestión a largo plazo de residuos de combustible nuclear. La ***NWMO*** llevó a cabo un estudio durante tres años para evaluar distintos criterios para la gestión a largo plazo de residuos de combustible nuclear, incluido el almacenamiento en sitio, almacenamiento centralizado y la eliminación. Como parte de este estudio, un proceso de consulta pública se llevó a cabo por la ***NWMO***. La ***NWMO*** presentó su informe con recomendaciones al Ministro de Recursos Naturales en 2005. En 2007, el Gobierno de Canadá seleccionó la Gestión de Adaptación Gradual (APM), el enfoque recomendado por la **NWMO**, para la gestión a largo plazo de residuos de combustible nuclear. La APM se compone de tres fases: (a) la fase 1 consiste en el desarrollo y la selección de una ubicación central para los residuos de combustible nuclear durante un período de 30 años, con especial atención a la participación pública y consultas, (b) la fase 2 implica el desarrollo de un servicio centralizado de instalación de almacenamiento y de demostración de tecnología, que abarcan un período de 30 años, y que requieren planificación de las tecnologías para ser finalizado y la construcción de la instalación para iniciarse, y (c) la fase 3 involucra la contención y aislamiento a largo plazo, un proceso que

garantice la eliminación de los residuos de combustible nuclear centralizado en un depósito geológico profundo, situado en el escudo Canadiense. La **NWMO** está ahora en el proceso de implementación de la APM, sujeto a todas las aprobaciones reglamentarias necesarias.

Todos los LLW actuales generados en la producción de energía nuclear están almacenados en los sitios de los reactores. OPG, Hydro-Quebec, New Brunswick Power operan instalaciones de almacenamiento para los residuos en el sitio. AECL también proporciona una instalación de almacenamiento de residuos para los pequeños productores con un sistema de pago por el servicio. OPG ha iniciado un estudio para evaluar las opciones para la gestión a largo plazo de todos sus LLW actualmente almacenados en el sitio Bruce. Se prevé que la instalación de gestión a largo plazo estará en funcionamiento para el año 2015 en un lugar de Ontario.

La ***Ley de Seguridad y Control Nuclear*** del gobierno explícitamente aborda la cuestión del desmantelamiento de instalaciones nucleares. La ley exige que el cierre y desmantelamiento de las instalaciones, así como el término de la gestión de los residuos, debe llevarse a cabo de conformidad con los planes aprobados por la ***CNSC***, la ***Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear***. Hasta la fecha, no se ha desmantelado plantas nucleares en Canadá.

3.1.4 Financiamiento

La ***Ley de Seguridad y Control Nuclear*** incluye disposiciones para garantizar que los solicitantes provean garantías financieras para financiar no sólo el desmantelamiento de sus instalaciones, sino también la gestión a largo plazo de residuos de combustible nuclear.

En general, en cuanto a la responsabilidad financiera para la gestión de residuos radiactivos, la ***CNSC*** requiere que los operadores existentes proporcionen garantías financieras destinadas a garantizar que las operaciones se lleven a cabo de manera responsable y ordenada.

Para los residuos de combustible nuclear, los requisitos para las garantías financieras se establecen en la ***Ley de Seguridad y Control Nuclear***. Esto solicita una garantía específica en forma de fondos fiduciarios en los que las empresas nucleares y AECL depositan dinero anualmente para cubrir los costos de las operaciones de manejo de largo plazo de los residuos de combustible, incluida la eliminación en un depósito geológico profundo. El dinero en estos fondos sólo puede ser retirado por la NWMO, y sólo después de una licencia de construcción o de operación para una instalación de gestión de desechos a largo plazo que ha sido concedida por la ***CNSC***.

Requisitos de garantía financiera bajo la ***Ley*** se aplican a la producción actual de residuos de bajo nivel. Garantías financieras, suficientes para cubrir la totalidad de los costes de gestión de residuos radiactivos, son puestos en marcha para todas las instalaciones nucleares en Canadá, incluidos los reactores de energía nuclear, reactores de investigación, instalaciones de fabricación de combustible, instalaciones de procesamiento de uranio, las instalaciones de procesamiento de isótopos, y las instalaciones de gestión de residuos.

En lo que respecta a las minas de uranio y los relaves de la molienda, la CNSC exige a los propietarios de las minas de uranio publicar las garantías financieras para cubrir los costes de desmantelamiento del sitio. Cuando el propietario no puede ser identificado, encontrado, o es incapaz de pagar, la responsabilidad de la clausura recae en los gobiernos federales y provinciales.

3.1.5 Autoridades Competentes

CNSC: La Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear es el principal organismo federal para la regulación y la supervisión de las operaciones llevadas a cabo por la industria nuclear.

AECL: La Atomic Energy of Canada Ltd es una corporación federal de la Corona y es responsable del diseño CANDU, la ingeniería y la comercialización, así como la investigación nuclear y el desarrollo. Se tiene un mandato público y comercial y es un productor de residuos radiactivos en su propio derecho.

LLRWMO: La Oficina de Gestión de Desechos de Bajo Nivel Radioactivo es el organismo encargado de llevar a cabo operaciones de limpieza de residuos históricos. Funciona como una división separada de AECL, pero recibe su financiación y la política de la dirección de Recursos Naturales de Canadá

Operadores: Las empresas claves (todas de propiedad privada) actualmente responsables de operar elementos del ciclo del combustible nuclear son las empresas productoras de energía, Ontario Power Generation, Bruce Power, Hydro-Quebec y Nueva Brunswick Power, junto con su Organización de Gestión de Residuos Nucleares (NWMO), las empresas que participan en la minería del uranio, la molienda y procesamiento, Cameco Corporation y Recursos Cogeman Inc.

3.2 Estados Unidos

3.2.1 Contexto de la Energía Nuclear

Los reactores de potencia nuclear en E.E.U.U. se dividían en 69 PWR y 34 BWR en 2002, todos operados por empresas privadas. La capacidad total suma 98,1 GW(e), proveyendo alrededor del 20% de la energía eléctrica total generada en el país ese año.

3.2.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos

En E.E.U.U, los HWL provienen principalmente del combustible nuclear (SNF) usado en reactores de potencia para la producción de electricidad y los residuos de transmutación (TRU) provienen de operaciones e instalaciones relacionadas a la defensa. Los residuos de bajo nivel (LLW) provienen de la operación de reactores y del uso médico, académico, industrial y de otros usos comerciales de radioisótopos. Los residuos de decomisionamiento aparecen de la descontaminación y retiro de materiales radiactivos encontrados en las instalaciones licenciadas por NRC durante el cierre del sitio y las actividades de restauración. Los residuos de las sobras de la molienda de uranio provienen de las actividades de proceso del mineral de uranio que siguen a la minería e investigación y desarrollo de proyectos de extracción de uranio.

SNF y HLW: Los reactores nucleares operativos descargan entre 1.800 y 2.000 toneladas métricas de metal pesado (MTHM) anualmente, totalizando 58.000 MTHM (alrededor de 202.000 ensambles de combustible agotado) al final de 2007. Todos las plantas de potencia nuclear operativas están almacenando el combustible agotado bajo la licencia NRC de piscinas in situ de combustible agotado o en repositorios de combustible agotado independientes. Además del SNF comercial, existe la necesidad de manejar el HLW, SNF y el exceso de plutonio generado en los programas de defensa.

Residuos TRU: el DOE clasifica a los residuos de larga vida que contengan concentraciones sobre 100nCi/g de emisiones alfa de isótopos transuránicos, con vidas medias superiores a 20 años, como residuos TRU. Los residuos TRU

generalmente consisten en vestimenta de protección, herramientas, vidrios, equipos, suelos y lodos que hayan sido contaminados con radionúclidos a través de operaciones o limpieza en instalaciones relacionadas a la defensa. Se permite al DOE almacenar 176.000 m^3 de residuos TRU en WIPP, un repositorio geológico profundo, especialmente diseñado y construido para la eliminación de residuos TRU.

LLW: Los residuos de bajo nivel están clasificados en el sector comercial como Clase A, Clase B, Clase C y Mayor a Clase C (GTCC) LLW, en concordancia con las regulaciones de NRC (código de regulaciones federales 10CFR61), basado en peligros potenciales y requerimientos de forma de residuos. Los de Clase A tienen concentraciones más bajas que los de Clase B, los que tienen una concentración más baja que los de Clase C. Los GTCC LLW son residuos que generalmente no se aceptan para ser eliminados cerca de la superficie y para los que los métodos de forma y eliminación de residuos deben ser diferentes y más estrictos, comparados con los de otras categorías LLW.

Sobras de la molienda de uranio: Los residuos de la molienda de uranio son generados durante la molienda de ciertos materiales para extraer uranio y torio. Estos residuos tienen concentraciones de radiactividad relativamente baja y larga vida media. Las sobras de la molienda son usualmente depositadas en grandes pilas cerca del lugar donde la molienda es realizada. La limpieza del sitio de molienda de uranio y torio luego de las operaciones de molienda incluye requerimientos de estabilidad a largo plazo de las pilas de sobras de la molienda, control de emisiones de radón, limpieza y protección de la calidad del agua y limpieza del suelo y edificios.

3.2.3 Políticas de Manejo de Residuos

El manejo de residuos y decomisionamiento en E.E.U.U. es implementado en dos amplios programas, esto es, programas del DOE y de entidades no DOE. El DOE es responsable de programas de desarrollo tecnológico de la energía nuclear y de armas nucleares para el Gobierno de Estados Unidos, así como de actividades dirigidas a la limpieza del medioambiente de sitios contaminados

relacionados a lo nuclear. Las entidades no DOE (privadas y públicas) que producen, manejan y eliminan LLW proveniente de la operación y decomisionamiento, incluyen a organizaciones como operadores de plantas nucleares, otras agencias federales no involucradas en el desarrollo de tecnología nuclear o programas de producción de armas para el Gobierno.

Respecto a la eliminación de SNF y HLW, las tres siguientes agencias federales de E.E.U.U. son responsables de:

- DOE es responsable del manejo de SNF y HLW y del diseño, construcción y operación de los repositorios geológicos.
- NRC es responsable del desarrollo de criterios y requerimientos técnicos para el licenciamiento de cualquier potencial repositorio geológico, incluyendo la construcción, operación y cierre de repositorios.
- EPA es responsable de promulgar los estándares de protección frente a la radiación para salud pública y medioambiente necesarios para proteger a la comunidad de emisiones de material radiactivo de un repositorio geológico.

En relación a los residuos TRU, el DOE solamente es responsable de la eliminación en el repositorio Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) en Nuevo Méjico.

A continuación el manejo de LLW en E.E.U.U.:

- DOE es responsable por y realiza la mayoría de las actividades de manejo de los LLW para los residuos de propiedad del gobierno y para los residuos generados en sitios de propiedad del gobierno. Estos LLW fueron generados como resultado de los programas de desarrollo de energía nuclear y de armas nucleares del Gobierno de E.E.U.U.
- NRC es responsable de regular la seguridad de las actividades del sector privado, incluyendo todos los aspectos de manejo de los LLW y su eliminación. Algunos poderes regulatorios de la NRC, incluyendo los asociados a la gestion y eliminacion de LLW, pueden ser cedidos a los 50 estados de E.E.U.U., en el marco del Agreement State Program.

- EPA es responsable de la regulación de componentes peligrosos de los residuos mezclados, esto es residuos que contienen ambos, químicos peligrosos y LLW.
- Bajo el ***LLW Policy Amendments Act,*** cada estado es responsable de realizar por si solo o en cooperación con otros estados la eliminación de LLW comercial.

En relación a las sobras de la minería de uranio, las responsabilidades de las organizaciones estadounidenses relevantes son las siguientes:

- DOE es responsable de rehabilitar viejas instalaciones de recuperación de uranio, incluyendo la construcción, operación y cierre de repositorios.
- NRC es responsable del desarrollo de criterio técnico y requerimientos para el licenciamiento de instalaciones de recuperación de uranio.
- EPA es responsable de reforzar estándares generalmente aplicables para proteger a la comunidad y el medioambiente de emisiones de material radiactivo desde repositorios.

En relación al decomisionamiento de instalaciones, las políticas de E.E.U.U. son las siguientes:

- NRC desarrolla regulaciones en el área de decomisionamiento para sitios licenciados por NRC y asegura la adecuada protección de la comunidad y el medioambiente.
- EPA establece los estándares generales para la radiación en el medioambiente que siguen, NRC, DOE y los Estados.
- DOE supervisa el decomisionamiento de instalaciones DOE.
- Los Estados Individuales son responsables de asegurar la protección adecuada de la salud y seguridad pública.

En relación al financiamiento de distintos programas de manejo de residuos en E.E.U.U., el Congreso destinó fondos para el programa de Gobierno DOE de manejo de residuos.

Por ley, los propietarios de SNF y residuos nucleares (incluyendo al gobierno federal) deben pagar el costo total de la implementación de un programa de eliminación en repositorios geológicos. Bajo el Acta de Política en Residuos Nucleares, como fue enmendada, la porción civil (no gubernamental) de programas de manejo de residuos debe ser financiada por los generadores y propietarios de los residuos a través de un cobro en la generación de energía nuclear (de propiedad privada).

Todos los aspectos del manejo y eliminación de los LLW y TRU de DOE y el decomisionamiento y limpieza de sitios contaminados son cubiertos por el Gobierno de E.E.U.U.

3.2.4 Financiamiento

Las organizaciones no DOE son responsables del pago de costos asociados al manejo y eliminación de los LLW, incluyendo residuos generados durante el decomisionamiento. Muchos generadores y compañías privadas en E.E.U.U., y sus costos de manejo de LLW son pagados de las utilidades generadas en el negocio. Algunos generadores no DOE son agencias federales públicas y reciben financiamiento directamente del Gobierno.

Otra categoría de financiamiento es la de propiedades comerciales de sitios de eliminación para los LLW privadas. Las licencias para ese tipo de instalaciones son requeridas para destinar y guardar fondos durante la operación de la instalación de manera de que haya dinero disponible para llevar a cabo un programa de control institucional post cierre.

Los dueños de instalaciones de recuperación de uranio deben rehabilitar sus sitios bajo cuenta propia, previo al término de su licencia. Adicionalmente, las licencias son requeridas para proporcionar garantías financieras que aseguren fondos suficientes para que un tercero complete la rehabilitación del sitio en el caso de que el licenciado no sea capaz de hacerlo. NRC es responsable de revisar la responsabilidad de garantía financiera anualmente.

3.2.5 Autoridades Competentes

NRC: El espectro de responsabilidades de la Comisión Reguladora Nuclear incluye la regulación de la energía nuclear comercial, instalaciones de ciclo de combustible, transporte, embalaje, almacenamiento y eliminación de materiales y residuos nucleares.

DOE: El Departamento de Energía es responsable de la regulación del manejo de sus propios residuos radiactivos y combustible agotado, que no sea eliminación geológica de residuos de alto nivel y combustible agotado. Opera repositorios para residuos de bajo nivel y recuperación de residuos de uranio.

EPA: La Agencia de Protección del Medioambiente es responsable de la implementación de leyes federales diseñadas proteger el medioambiente. Como parte de esa misión, la EPA ha emitido estándares que son aplicados a instalaciones que manejan o eliminan residuos de alto nivel, combustible agotado y residuos TRU.

3.3 Finlandia

3.3.1 Contexto Energía Nuclear

La utilización comercial de la energía nuclear en Finlandia comenzó en 1977 y hay cuatro reactores de potencia, dos unidades BWR en la planta de energía nuclear de Olkiluoto operada por Fortum Power y Heat Oy y dos unidades PWR en la planta de energía nuclear de Loviisa, conectado a la red eléctrica. Ambas centrales eléctricas son de propiedad y operadas por empresas privadas, Fortum Power y Heat Oy y Teollisuuden Voima Oy, respectivamente. En 2007, los reactores de potencia generaron 22,5 TWh de electricidad, lo que representa el 28,9% del total nacional de producción de energía en el país. En 2002, el parlamento finlandés ratificó la decisión para la construcción de otro reactor de energía nuclear. La construcción de una unidad EPR de 1600 MWe se inició en 2005 en Olkiluoto. Se prevé que estará en funcionamiento el 2009.

3.3.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos

Los residuos nucleares en Finlandia se derivan principalmente de las dos plantas de energía nuclear, con un total de cuatro reactores, y de un pequeño reactor de investigación. No hay mayores proyectos de desmantelamiento, potenciales generadores de residuos radiactivos, en marcha o previstas en un futuro próximo.

Los residuos radiactivos se clasifican en Finlandia de acuerdo con su potencial vía de eliminación. El combustible nuclear consumido se destina a la eliminación en un depósito geológico. Residuos de intermedio o bajo nivel (LILW) son de una actividad mucho menor y están destinados a la eliminación en cavernas rocosas de profundidad intermedia. Algunos residuos de muy bajo nivel pueden ser liberados en el medio ambiente sin más control radiológico.

3.3.3 Políticas de Gestión de Residuos

Los productores de residuos radioactivos son responsables de todos los aspectos de la gestión del residuo radioactivo y de los costos asociados.

La ***Ley de Energía Nuclear*** establece que los residuos radiactivos generados en Finlandia se manipulan, almacenan y eliminan de forma permanente en Finlandia. El Ministerio de Trabajo y Economía (MEE) ha emitido un calendario a largo plazo para la implementación de la gestión de residuos radiactivos en Finlandia. En una situación en la que un productor de los residuos radiactivos no cumpla con sus obligaciones de gestión de residuos, la responsabilidad de hacerlo recae en el Gobierno.

La política de gestión del combustible consumido consiste en el almacenamiento provisional en piscinas de agua en las centrales nucleares durante varios decenios y, posteriormente, la encapsulación para la eliminación en un depósito geológico, que se encuentra a una profundidad de 500 metros en roca cristalina. En lo que respecta al almacenamiento de combustible consumido, una instalación de almacenamiento provisional, con una capacidad de 490 t de material pesado está en funcionamiento en la planta de energía nuclear de

Loviisa. En la planta de energía nuclear de Olkiluoto, una instalación de almacenamiento húmedo de combustible consumido tiene una capacidad de 1200 toneladas de material pesado. La necesidad de capacidad de almacenamiento adicional ha sido identificada para continuar con el almacenamiento de los residuos más allá del 2014.

El programa para la eliminación del combustible consumido, que comenzó en la década de 1980, se está llevando a cabo por Posiva, una empresa privada propiedad de las dos empresas de servicios nucleares. Está previsto disponer de un repositorio geológico profundo para la disposición final del combustible consumido en Olkiuoto listo para operar en el 2020.

Actualmente no hay minas de uranio en operación en el país.

Residuos de niveles bajos e intermedios de las operaciones de los reactores se eliminan en las instalaciones de eliminación de cavernas rocosas, que se encuentra en las dos plantas de energía. Los repositorios de Olkiluoto y Loviisa fueron comisionados en 1992 y 1995, respectivamente. Instalaciones para acondicionamiento de los residuos están disponibles en las dos centrales nucleares. Alrededor del 60% de los residuos generados han sido eliminados en los dos depósitos.

Con respecto a desmantelamiento, la normativa actual deberá modificarse a fin de cubrir las disposiciones para el desmantelamiento. Las dos empresas de servicios públicos han desarrollado planes para el desmantelamiento de sus centrales nucleares. El plan para la central nuclear de Loviisa se basa en el desmantelamiento inmediato, mientras que el plan de desmantelamiento de la central nuclear de Olkiluoto exige un almacenamiento seguro por un período de unos 30 años antes de su desmantelamiento. Actualmente no se están llevando a cabo proyectos que involucren el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Según los planes actuales, los desechos del desmantelamiento se eliminan en repositorios de cavernas rocosas, ubicados en los lugares de los repositorios existentes para los residuos operacionales de las dos centrales nucleares. Una

característica especial del plan de desmantelamiento es el emplazamiento de grandes componentes, tales como recipientes a presión y generadores de vapor, en pozos de eliminación o bóvedas del repositorio.

3.3.4 Financiamiento

En Finlandia, los operadores de las instalaciones nucleares son responsables del financiamiento de la gestión de los residuos radiactivos, incluido el desmantelamiento del reactor y la eliminación de residuos que generan. Con el fin de garantizar que su responsabilidad financiera está cubierta, los operadores deben presentar estimaciones anuales de los costos de sus futuros compromisos de gestión de residuos. Las empresas están obligadas a dejar de lado una cierta cantidad de dinero cada año para los ***Fondos de Gestión de Residuos Nucleares del Estado***.

3.3.5 Autoridades Competentes

MEE: El Ministerio de Trabajo y Economía supervisa la implementación de la gestión de residuos radiactivos y I+D relacionada para garantizar que cumplen con la política nacional.

STUK: La Autoridad de Radiación y Seguridad Nuclear es responsable del control de la radiación y seguridad nuclear.

FPH y TVO: Fortum Power y Heat Oy (FPH) y Teollisuuden Voima Oy (TVO) son las empresas privadas responsables de la operación de la central nuclear de Loviisa y Olkiluoto respectivamente.

Posivo Oy: Es una compañía privada de propiedad conjunta entre FPH y TVO y es responsable de la implementación de los programas de eliminación de combustible nuclear consumido.

3.4 Francia

3.4.1 Contexto Energía Nuclear

La utilización comercial de la energía nuclear en Francia se inició en 1959 y para el 2007 había 59 reactores nucleares en funcionamiento (58 reactores

industriales pertenecen a EDF, la empresa nuclear de Francia, el Phenix FBR, y un reactor de investigación de la CEA). En lo que respecta al desarrollo de nuevas centrales nucleares en el país el EDF se encuentra actualmente en el proceso de creación de un nuevo tipo de reactor de potencia EPR. El reactor se espera que esté terminado para el año 2012. La EDF es la empresa nuclear que posee y opera plantas de energía nuclear en Francia. Creado como empresa pública en 1946, fue privatizada en el 2004. El CEA es un organismo público creado en 1945 para llevar a cabo la ejecución de las actividades nucleares con fines civiles y de proporcionar el apoyo necesario para el desarrollo de las actividades de la defensa nacional. AREVA (anteriormente COGEMA) es una empresa privada, cuyo principal accionista es el CEA, AREVA participa activamente en todas las etapas del ciclo del combustible nuclear (desde la minería a la fabricación de combustible y el reprocesamiento), lo que lo convierte en un importante generador de los residuos.

En Francia, el combustible nuclear consumido no se considera un desecho, sino que es reprocesado para la recuperación de materiales reutilizables. El reprocesamiento comercial se lleva a cabo en la planta de La Haya operado por AREVA.

3.4.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos

La mayoría de los residuos radiactivos en Francia se genera como resultado de la producción de electricidad. El resto surge de la utilización de materiales radiactivos en medicina, investigación, fines militares y aplicaciones industriales. Los residuos se clasifican en cuatro categorías, de acuerdo con sus niveles de actividad. Cada categoría de residuos se subdividen, sobre la base de la vida media de los radionucleidos que figuran en él. Las cuatro categorías principales comprenden: (a) residuos de muy bajo nivel (VLLW), (b) residuos de bajo nivel (LLW), (c) de residuos de nivel intermedio (ILW), y (d) residuos de alto nivel (HLW). Para cada una de estas categorías se realiza una distinción entre los residuos que contengan radionucleidos con una corta vida media (<30 años) y aquellos con una larga vida media (> 30 años). El combustible nuclear consumido,

ya que contiene materiales reutilizables, no es residuo para ser eliminado, de acuerdo con la normativa francesa.

3.4.3 Políticas de Gestión de Residuos

En lo que respecta a la política de gestión de residuos, las orientaciones generales fueron establecidas en el ***Código del Medio Ambiente***, siguiendo la Ley ***de Residuos*** del 30 de diciembre de 1991 y la ***Ley de planificación***, del 28 de junio de 2006, relativa a la gestión sustentable de materiales radiactivos y los residuos. Las acciones específicas que se han tomado son las siguientes:

- Una empresa del gobierno, la Agencia Nacional de la Gestión de Desechos Radioactivos (ANDRA) se creó con el fin de manejar todos los tipos de desechos radioactivos producidos en Francia.
- Un ***Plan Nacional*** para la gestión de materiales radioactivos y desechos fue implementado y define los objetivos de gestión para los desechos sin un sistema de eliminación existente.
- Separación y transmutación de elementos radioactivos de larga vida en HLW y ILW, en particular con una evaluación de una posible instalación en el 2012 y una instalación de transmutación en el 2020 (el lugar de la instalación se ha encomendado al CEA)
- Una instalación de repositorio geológico recuperable para los HLW y/o los ILW con una solicitud de licencia presentada por ANDRA el 2015, y sujeto a esa licencia, comisionando el repositorio en el año 2025.
- En lo que respecta al almacenamiento de los HLW y/o los ILW, establecimiento de una nueva instalación o modificación de las actuales instalaciones para el año 2015 para satisfacer las necesidades futuras.

ANDRA y los generadores de residuos han elaborado conjuntamente un sistema de gestión de residuos que abarque todas las fases de tratamiento de residuos y acondicionamiento, transporte, almacenamiento y eliminación. Un componente importante del sistema de gestión integrada de los desechos es que permite el seguimiento de los residuos desde la producción en la fuente hasta su eliminación final en un repositorio. Esto se basa en una red informática, vinculando

a los generadores de desechos con la oficina principal de ANDRA, que registra las características de cada paquete, los controles de cumplimiento, autoriza el envío y, a continuación, realiza el seguimiento de los paquetes hasta su destino final.

El primer depósito Francés de residuos cerca de la superficie, ***CSM***, para LLW y ILW de corta vida fue encargado en 1969, situado en el distrito de Manche y adyacente a la planta de reprocesamiento de AREVA en La Haya. La instalación recibió 527.000 m3 de residuos radiactivos hasta 1994, cuando las operaciones de eliminación fueron suspendidas. En el 2003, la instalación fue autorizada a entrar en su fase posterior a la clausura de control institucional. El período de seguimiento institucional se espera que dure por un período de ~ 500 años.

En el 1992, ANDRA encargó un nuevo depósito de residuos cerca de la superficie, ***CSFMA***, para LLW y ILW de corta vida, situada 250 km al este de París en el distrito de Aube. La instalación de depósito de residuos comprende instalaciones de acondicionamiento de residuos y un área de eliminación que abarca alrededor de 30 hectáreas. La instalación está autorizada para recibir un millón de metros cúbicos de envasado, de LLW y ILW de corta vida, para su eliminación y se espera que cumpla con las necesidades de residuos del país hasta el 2040.

Posteriormente, ANDRA encargo otro centro cerca de la superficie, **CSTFA**, en el 2003, específicamente para la eliminación de VLLW, situado en la Morvilliers en el distrito de Aube. El depósito de residuos tiene una capacidad para recibir 650.000 m3 de VLLW, con una vida operativa de 30 años. Este servicio se adaptará a la mayoría de los residuos resultantes de la clausura y el desmantelamiento de las instalaciones nucleares del país.

Actualmente, ANDRA está trabajando en el desarrollo de un repositorio geológico profundo para la eliminación de los residuos de larga vida, como los residuos con radio, grafito y tritio. Este depósito se espera que sea encargado en el año 2015.

3.4.4 Financiamiento

En Francia, los operadores son responsables del financiamiento de la gestión de sus residuos y el desmantelamiento de sus instalaciones nucleares. Cada operador nuclear (EDF, AREVA, CEA) maneja sus fondos, que se quedan en la empresa como provisiones respaldados por activos suficientes de seguridad y liquidez. Una comisión nacional de evaluación financiera ha sido creada para evaluar el financiamiento de los gastos en el desmantelamiento de las instalaciones nucleares y la gestión de combustible consumido y los residuos radiactivos. Una iniciativa similar se ha comprometido a financiar el plan de desarrollo económico de los municipios y distritos que es probable que estén afectados por el proyecto de repositorio geológico.

3.4.5 Autoridades Competentes

ASN: un organismo administrativo independiente creado el 2006, es la autoridad de seguridad nuclear en Francia.

ISRN: creada en el 2002, ISRN es la principal organización de soporte técnico de la ASN.

CNE: La Junta Nacional de Confianza se encarga de evaluar los progresos de la investigación y estudios sobre la gestión de los residuos radiactivos y materiales.

ANDRA: La Organización Nacional de Gestión de Desechos Radioactivos.

EDF: Electricidad de Francia es una empresa eléctrica privada que posee y opera todas las plantas de energía en Francia.

CEA: La Comisión de Energía Atómica es un organismo público creado para llevar a cabo la implementación de todas las actividades nucleares civiles.

AREVA: anteriormente COGEMA, AREVA es una compañía privada, cuyo principal accionista es la CEA, y está involucrado en todas las etapas del ciclo del combustible nuclear (desde la minería hasta la fabricación del combustible y su reprocesamiento), lo que lo hace uno de los principales generadores de desechos.

3.5 Reino Unido

3.5.1 Contexto de la Energía Nuclear

La utilización de la energía nuclear en el Reino Unido comenzó en 1956 y en 2002 ya habían 31 unidades de potencia nuclear con una capacidad total de 12 GW(e) conectados a la red eléctrica, generando el 22,0% del total de energía eléctrica producida en el país ese año.

El Gobierno del Reino Unido emitió su **"*Energy White Paper "Our Energy Future – Creating a Low-carbon Economy*"** en 2003. Esto estableció que a pesar de que la energía nuclear era una importante fuente de electricidad libre de carbono en ese tiempo, la evaluación económica de la energía nuclear la hacía poco atractiva como opción para nueva capacidad de generación, incluyendo el importante factor de los residuos nucleares que debe ser resuelto. Por este motivo el ***White Paper*** no propuso la construcción de nuevas edificaciones nucleares, pero tampoco descartó que en algún punto en el futuro la construcción de nuevas edificaciones nucleares puedan ser necesarias para alcanzar los objetivos de carbono de el Reino Unido.

3.5.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos

En el Reino Unido, los residuos radiactivos son clasificados bajo la siguiente gama de categorías, de acuerdo a su capacidad de generar calor y al contenido de actividad: de alto nivel o residuos generadores de calor (HLW); residuos de nivel intermedio (ILW); residuos de bajo nivel (LLW); y residuos de muy bajo nivel (VLLW), que se aplican a volúmenes pequeños que pueden ser eliminados de manera segura y simple.

Inventarios y pronósticos de aumentos de residuos radiactivos son registrados en el Inventario de Residuos Radiactivos del Reino Unido, compilado periódicamente por el Departamento de Medioambiente, Alimentos y Asuntos Rurales (Defra) y United Kingdom Nirex Ltd (Nirex).

3.5.3 Políticas de Manejo de Residuos

Durante 2002, tres desarrollos en políticas de manejo de residuos radiactivos fueron anunciados en el Reino Unido:

- El Gobierno anunció un programa para decidir la mejor manera de manejar los residuos sólidos, de alta actividad en el largo plazo. Bajo esta iniciativa, un nuevo ente independiente, el ***Comité de Manejo de Residuos Radiactivos*** (CoRWM), ha sido formado para supervisar una revisión de las opciones para el manejo a largo plazo de estos residuos, y para recomendar estrategias a los ministerios para el 2006. Se espera que el CoRWM interactúe intensivamente con la comunidad y los grupos accionistas antes de entregar a sus recomendaciones.
- En su ***White Paper, "Manejando el Legado Nuclear",*** el Gobierno anunció un cambio mayor en la preparación de la limpieza nuclear financiado por las arcas públicas. El ***White Paper*** propuso una nueva autoridad, la Autoridad de Decomisionamiento Nuclear (NDA), para hacer frente a la responsabilidad histórica que es financiada por quienes pagan impuestos. La nueva NDA asumirá la responsabilidad de todos los sitios actualmente operados por BNFL y UKAEA.
- La Estrategia del Reino Unido para Descargas Radiactivas 2002-2020 fue publicada con el fin de alcanzar reducciones progresivas y sustanciales de descargas radiactivas y de límites de descarga para alcanzar los compromisos del Reino Unido bajo la Convención OSRAP.

La mayoría de los LLW son almacenados en repositorios cercanos a la superficie, operados por BNFL en Drigg, Cumbria. Un repositorio para LLW en el sitio de la UKAEA Dounreay alcanzó su capacidad. Un estudio de evaluación de opciones está siendo llevado a cabo para determinar la mejor manera de manejar los LLW del sitio Dounreay en el futuro.

La mayoría de los ILW son almacenados in situ donde fueron producidos. Han aumentado alrededor de dos tercios (con el volumen como base) en el sitio Sellafield de BNFL. Hay un creciente interés en colocar los residuos en una forma

pasivamente segura, serán ubicados en un almacenamiento provisorio hasta que una opción final de manejo a largo plazo sea identificada e implementada bajo el programa de “Manejo de Residuos Radiactivos Seguro”.

Los HLW se levantan del reproceso del combustible nuclear agotado. En 2001 cerca del 90% del inventario existente en el Reino Unido se encontraba en Sellafield. Los HLW del reproceso aparecen en forma líquida y posteriormente son sometidos a condiciones de manejo a largo plazo mediante la vitrificación. La política actual del Reino Unido dice que los residuos vitrificados deben ser almacenados por al menos 50 años para permitir que el calor decline de manera de hacer el manejo a largo plazo menos complejo.

Otro tema con el que el comité independiente CoRWM trata es con la identificación en el tiempo de algunos inventarios existentes en el Reino Unido de combustible agotado, plutonio y uranio que sean propensos a ser considerados residuos en los siguientes cien años y desarrollar propuestas para su manejo en el largo plazo.

En consideración a la política de decomisionamiento de plantas nucleares en el Reino Unido, se espera que cada operador produzca y mantenga una estrategia y plan de decomisionamiento de sus sitios, tomando en cuenta la perspectiva de los accionistas, 1.e. la comunidad, grupos de accionistas, autoridades relevantes, etc. Las estrategias deben incluir un plan completo de decomisionamiento para llevar a cabo el proceso de manera segura para velar por la seguridad y protección de medioambiente. Cada plan debe considerar el uso futuro del sitio en cuestión.

3.5.4 Financiamiento

La política general en el Reino Unido determina que los productores y propietarios de los residuos radiactivos son responsables de cargar con los costos de manejo y eliminación de sus residuos, incluyendo los costos de regulación. Ellos deben calcular el costo de manejo de residuos radiactivos y de las responsabilidades de eliminación antes de que se incurra en estos y hacer la provisión financiera apropiada para cubrirlos. Los productores y propietarios de

residuos radiactivos también son responsables del desarrollo de sus propias estrategias de manejo de residuos y de consultar al Gobierno, entes reguladores y organizaciones de eliminación, de ser pertinente.

Los costos de reproceso y eliminación del combustible nuclear agotado y el almacenamiento a largo plazo, tratamiento y la eventual eliminación de los residuos radiactivos del reprocesamiento de combustible, deben ser cubiertos por las empresas propietarias de ellos.

La nueva NDA será financiada directamente por el Gobierno, asegurando los fondos suficientes para permitir a la NDA manejar el decomisionamiento de la manera más efectiva.

3.5.5 Autoridades Competentes

NII: El Inspectorado de Instalaciones Nucleares regula el manejo de los residuos radiactivos en los sitios nucleares, incluyendo las instalaciones de almacenamiento.

NDA: La Autoridad de Decomisonamiento Nuclear será responsable de los sitios actualmente manejados por BNFL y la Agencia de Energía Atómica del Reino Unido.

3.6 República Checa

3.6.1 Contexto de la Energía Nuclear

La utilización comercial de la energía nuclear en la República Checa se inició en 1985 y antes de finales del 2008 ya habían 6 unidades de reactor nuclear conectados a la red eléctrica, generando 35 TWh de electricidad lo que corresponde al 32% del total de la electricidad producida en el país en el 2008. Hay cuatro reactores de potencia WWER 440/213, con una capacidad total de 1,6 GW (e), que opera en la planta nuclear de Dukovany, y dos reactores de potencia WWER 1000/320 (capacidad total de 1,8 GW (e)) en la planta nuclear de Temelin. CEZ, una empresa de propiedad privada, opera las dos plantas de energía nuclear en el país.

3.6.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos

Los residuos nucleares en la República Checa se derivan principalmente de las dos plantas de energía nuclear, con un total de 6 reactores, y de un pequeño reactor de investigación. Los residuos se clasifican en tres categorías principales: (a) residuos de nivel bajo e intermedio - de corta duración (LILW-SL); (b) residuos de nivel bajo e intermedio - de larga vida (LILW-LL), y (c) el combustible nuclear gastado y residuos de alto nivel. Los residuos radiactivos de baja actividad, derivados de las actividades mineras del uranio en la República Checa, es otro tipo de residuos que se genera en el país.

La mayoría de los residuos radiactivos en la República Checa son LILW (tanto SL como LL), principalmente derivados de la operación de las dos centrales nucleares y, en el futuro, del proyecto de decomisionamiento de los 6 reactores de potencia. Un depósito de residuos de LILW-SL, generados en las centrales nucleares de Dukovany y Temelin, se encuentra en la central nuclear de Dukovany. Ambas centrales nucleares tienen instalaciones de almacenamiento de los desechos acuosos e instalaciones de tratamiento de los desechos sólidos. El depósito de residuos tiene una capacidad de 55.000 m3, que es suficiente para los residuos generados en la operación de las dos centrales nucleares, así como para los residuos generados por el eventual decomisionamiento de los seis reactores. Los LILW-LL, generados en las centrales nucleares, se almacenan en cada una de las centrales para su eventual eliminación prevista en un depósito geológico profundo.

De conformidad con la Ley Atómica, el combustible nuclear consumido no es considerado un residuo radiactivo en la República Checa. Sin embargo, CEZ, el propietario de las dos centrales nucleares, o la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear, decidirá en el futuro la posibilidad de reprocesar el combustible consumido o desecharlo como residuo, sin reprocesamiento. El actual inventario de residuos nucleares gastados es relativamente pequeño, representando menos del 10% (en volumen) del total del inventario de residuos radiactivos en el país. Actualmente, el combustible nuclear gastado de la central nuclear de Dukovany se

almacena en el lugar en una instalación de almacenamiento provisional en barriles de doble finalidad (transporte y el almacenamiento) CASTOR 440/84. Esta instalación fue creada en el 1997. Una instalación para el almacenamiento de combustible nuclear consumido, en la central de Temelin, está previsto que se complete después del 2009.

La empresa de propiedad estatal, DIAMO, es la única organización que opera la minería del uranio y las instalaciones de molienda en la República Checa. A partir del 2002, sólo una mina subterránea de uranio está en funcionamiento en el sitio de Rozna. Todas las demás minas han sido cerradas y trabajos de remediación se están llevando a cabo.

Con respecto al decomisionamiento, ningún reactor de potencia ha sido desmantelado hasta la fecha en la República Checa.

3.6.3 Políticas de Gestión de Residuos

El Gobierno Checo ha desarrollado un "Concepto de Gestión de Residuos Radiactivos y Combustible Nuclear Gastado". Este es un documento fundamental que establece la estrategia del Gobierno y las autoridades del Estado en lo que respecta a las diversas organizaciones que participan en la generación y gestión de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado.

En la República Checa, la recolección, transporte y almacenamiento de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado se lleva a cabo por empresas privadas. La organización de propiedad del Gobierno, Radioactive Waste Repository Authority (RAWRA) es responsable de la eliminación de los residuos radiactivos y del futuro tratamiento y eliminación del combustible nuclear gastado.

La opción adoptada para el decomisionamiento de las centrales nucleares de Dukovany y Temelin, ambas de propiedad privada y operado por CEZ, se compone por etapas de decomisionamiento, seguido por el decomisionamiento diferido después de un período de 50 años.

3.6.4 Financiamiento

La Ley Atómica del país establece que el generador de los residuos radiactivos se encarga de todos los gastos relacionados con la gestión de los residuos radiactivos durante todo su ciclo de vida, es decir, desde la producción de residuos en la fuente hasta su eliminación final, incluido el costo de la supervisión y vigilancia de las instalaciones de eliminación durante el período posterior al cierre bajo control institucional. La eliminación de residuos radiactivos y el tratamiento y eliminación del combustible nuclear gastado es responsabilidad de RAWRA. El generador de los residuos paga por estos servicios en forma de pagos a una cuenta nuclear. La cuenta nuclear, que está controlada por el gobierno y administrados por RAWRA, se utiliza para diversas actividades especificadas en la Ley Atómica.

En virtud de las disposiciones de la Ley Atómica, los licenciatarios están obligados a hacer una provisión financiera para el decomisionamiento de las instalaciones nucleares. Los fondos deberán ser provistos para el decomisionamiento y desmantelamiento de todas las instalaciones nucleares, incluidas las dos centrales nucleares.

3.6.5 Autoridades Competentes

SIAL: La organización de la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear es responsable de la seguridad nuclear y la protección radiológica.

RAWRA: La empresa del gobierno Radioactive Waste Repository Authority es responsable de la eliminación de todos los residuos radiactivos, incluido el tratamiento y la eliminación del combustible nuclear gastado.

CEZ: es una compañía privada que posee y opera las plantas de energía nuclear de Dukovany y Temelin.

3.7 Suiza

3.7.1 Contexto de la Energía Nuclear

La utilización comercial de la energía nuclear en Suiza comenzó en 1969 y para 2002 ya existían cinco reactores de potencia nuclear, tres PWR y dos BWR con una capacidad total de 3,2 GW(e), conectados a la red eléctrica y abarcando el ~40% de la generación el eléctrica del país ese año.

Una ***Ley de Energía Nuclear*** fue aprobada por el Parlamento en 2003. Sus consideraciones principales incluyen:

- Que no existe límite en la vida útil de una planta de potencia nuclear, salvo por consideraciones de seguridad
- Un referéndum nacional opcional para licencias generales en la construcción de nuevas plantas de potencia nuclear
- Una moratoria de 10 años en el reprocesamiento de combustible nuclear agotado, a contar de 2006
- Que la responsabilidad en el manejo y eliminación de residuos nucleares recae sobre los productores de residuos nucleares.
- El Estado se hace responsable del manejo de residuos radiactivos de hospitales, industrias e investigación
- La eliminación de todos los residuos radiactivos debe ser realizada en repositorios geológicos
- Un referéndum nacional opcional está planificado en conexión con las licencias generales para repositorios
- Asegurar que existen suficientes fondos disponibles para financiar el decomisionamiento y la eliminación de residuos

3.7.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos

Con propósito de planificación, un modelo de inventario de residuos (***MIRAM***) para todos los residuos derivados esperados o proyectados ha sido desarrollado. Además, los operadores de las plantas de potencia y de los repositorios de Suiza, en conjunto con la ***Cooperativa Nacional para la eliminación de Residuos Radiactivos*** (***NAGRA***), han desarrollado una base de datos electrónica común,

ISRAM, la que incluye una descripción detallada de todos los paquetes de residuos y sus contenidos, con esto se obtiene un inventario completo y detallado de todos los residuos radiactivos actualmente existentes en el país.

La mayoría de los residuos radiactivos en Suiza son derivados de la producción de electricidad nuclear. Los residuos de nivel bajo e intermedio (LILW) consisten en residuos operacionales de plantas de potencia nuclear, residuos de hospitales, residuos de industrias e investigación, residuos tecnológicos de bajo nivel originados en el reprocesamiento de combustible agotado y residuos del decomisionamiento y desmantelamiento de plantas de potencia nuclear y de instalaciones de investigación. Cada planta de potencia nuclear tiene una instalación in situ para el almacenamiento de los LILW que generan.

Respecto al combustible nuclear agotado, residuos de nivel alto y residuos de nivel intermedio con larga vida media, se espera que se produzca un inventario de ~3,000 t HM de los cinco reactores, asumiendo 40 años de operación. Además, se ha estimado un inventario proyectado total de 5.900 m3 de paquetes de ILW de larga vida con propósitos de planificación. Estos residuos derivan del reprocesamiento de combustible agotado, medicina, industria e investigación, así como de la operación y decomisionamiento de plantas de potencia nuclear. Un repositorio central, ***ZWILAG***, ubicado en Wuerlingen, posee una sala de almacenamiento seco con capacidad para 200 toneles de combustible agotado vitrificado de HWL y un edificio de almacenamiento para los ILW.

El concepto de manejo de residuos nucleares en Suiza contempla dos tipos de repositorios, uno para los LILW y otro para elementos del combustible agotado no procesado, residuos de nivel alto e ILW de larga vida.

Suiza no presenta actividades de minería y molienda de uranio.

Respecto al decomisionamiento de reactores de potencia, ni uno se ha llevado a cabo hasta la fecha.

3.7.3 Financiamiento

Bajo la ley Suiza, se obliga a los productores de residuos radiactivos cubrir los costos de manejo de sus residuos. El Fondo de Decomisionamiento fue establecido en 1984 para cubrir los costos de decomisionamiento y desmantelamiento, y condiciona el transporte y eliminación de todos los residuos resultantes del decomisionamiento. El Fondo para la Eliminación de Residuos para plantas de potencia nuclear fue establecido en 2000. Contempla todas las actividades asociadas con el manejo de los residuos operacionales y de elementos del combustible agotado al término de la vida útil de la respectiva planta de potencia nuclear. Estas actividades incluyen el empaquetado y transporte, el condicionamiento de elementos de combustible agotado para su eliminación directa, almacenamiento provisorio, y la construcción, operación y cierre de repositorios.

3.7.4 Autoridades Competentes

AGNEB: El Grupo de Trabajo Interdepartamental para el Manejo de Residuos Radiactivos

KSA: La Comisión Federal para la Seguridad en Instalaciones Nucleares

HSK: El Inspectorado Federal para la Seguridad Nuclear

KNE: La Comisión Federal de Manejo de Residuos Radiactivos

NAGRA: La Cooperativa Nacional para la eliminación de Residuos Radiactivos es responsable de los preparativos de la eliminación de todas las categorías de residuos radiactivos

3.8 Corea del Sur

3.8.1 Contexto de la Energía Nuclear

La utilización comercial de energía nuclear en Corea comenzó en 1978 y para el 2002 existían 18 reactores de potencia nuclear conectados a la red eléctrica, generando un 38,9% del total de la electricidad generada en el país ese año. Dos

reactores de potencia nuclear adicionales se terminaron desde 2002 y 8 unidades más serán agregadas a la red. Korea Hydro & Nuclear Power Company (KHNP) es la empresa eléctrica responsable de la construcción y operación de plantas de potencia nuclear, así como del manejo y eliminación de residuos radiactivos y su I&D asociada. El Instituto Korea de Energía Atómica (KAERI), una organización de propiedad pública para la investigación nuclear, lleva a cabo I&D relacionada al manejo de residuos de alto nivel.

3.8.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radiactivos

En Corea, los residuos radiactivos se clasifican en dos grandes categorías: residuos de alto nivel (HLW) provenientes de la generación de energía nuclear; y residuos de nivel bajo e intermedio (LILW) que derivan de la generación de energía y del uso de radioisótopos en investigaciones médicas y aplicaciones industriales. En Corea, los HWL comprenden sólo combustible nuclear agotado, que derivan de la operación de reactores Candú y PWR. Actualmente, el combustible agotado es almacenado in situ en las cuatro plantas de potencia nuclear, tanto en piscinas de combustible agotado o en instalaciones de almacenamiento seco.

Los LILW de la operación del reactor consisten en residuos activos secos, residuos líquidos solidificados, resina utilizada y filtros utilizados. Los LILW son almacenados en instalaciones de almacenamiento provisorias en las cuatro plantas nucleares. La capacidad total de almacenamiento in situ es de ~99.000 tambores, lo que es suficiente para alcanzar los requerimientos de almacenamiento provisorio hasta 2010.

3.8.3 Políticas de Manejo de Residuos

En 1998, una nueva política para programas de manejo de residuos radiactivos fue aprobada por el Comité Coreano de Energía Atómica (AEC), un cuerpo responsable para determinar políticas en temas nucleares en Corea. Los principios básicos de esta política son los siguientes.

- Control directo del Gobierno;

- Se dará prioridad a la seguridad;
- Minimización de la generación de residuos;
- Aplicación del principio de “pago de los contaminadores”;
- Transparencia en el proceso de ubicación de los respositorios.

El plan de implementación de la política es el siguiente:

Manejo de LILW y Combustible Agotado

- La generación de LILW debe ser minimizada; los residuos deben ser manejados in situ en el reactor nuclear hasta que hayan repositorios disponibles
- El combustible agotado debe ser almacenado in situ en el reactor hasta 2016, con una posible expansión de la capacidad de almacenamiento in situ.

Plan para un Complejo Nacional de Manejo de Residuos Radiactivos

- Un repositorio para LILW se planea que sea terminado y esté operativo en 2008, está diseñado con una capacidad de 100.000 tambores inicialmente, aumentando gradualmente hasta 800.000 tambores.
- Una instalación de almacenamiento provisional centralizada para combustible agotado se espera que sea terminada alrededor del 2016. La capacidad de almacenamiento inicial será de 2.000 toneladas HM, aumentando eventualmente a 20.000 toneladas HM. El tipo de almacenamiento, por ejemplo seco vs húmedo, será decidido a su debido tiempo.

El Instituto Corea de Investigación en Energía Atómica (KAERI) y Korea Hydro & Nuclear Power Company (KHNP) llevan a cabo I&D relacionada al manejo de residuos radiactivos, con KAERI involucrado principalmente en el manejo de HLW y del combustible agotado y KHNP enfocada a temas y almacenamiento provisional de combustible agotado. Actualmente, el trabajo se está enfocando en ubicar un repositorio para LILW y un repositorio Lejos-del-Reactor (AFR) para combustible agotado.

3.8.4 Financiamiento

En 1985, el ***Acta de Energía Atómica*** fue modificada para establecer un ***Fondo de Manejo de Resisuos Radiactivos***. Esto fue diseñado para garantizar recursos financieros para el manejo de residuos radiactivos basados en el principio de ***"pago de los contaminadores".*** Como resultado, los productores de residuos radiactivos son responsables financieramente del manejo de los residuos que ellos generan.

El ***Acta de Negocio Eléctrico*** solicita a la KHNP colectar fondos de las plantas de potencia nuclear para el manejo de residuos radiactivos. El Acta también prescribe una tarifa para el decomisionamiento de una planta de potencia nuclear y el almacenamiento del combustible agotado y LILW.

3.8.5 Autoridades Competentes

AEC: El Comité de Energía Atómica es el cuerpo más alto en la elaboración de políticas en materia nuclear en Corea.

MOST: El Ministerio de Ciencia y Tecnología es responsable de emitir permisos para la construcción y operación de instalaciones nucleares y para la implementación de regulaciones de seguridad abarcando instalaciones de manejo de combustible agotado y residuos radiactivos así como I&D nuclear.

KINS: El Instituto Coreano de Seguridad Nuclear está conformado por un grupo de expertos que realizan inspecciones regulatorias, revisan licencias y hacen recomendaciones al MOST en materias de seguridad nuclear.

MOCIE: El Ministerio de Comercio, Industria y Energía establece e implementa el plan de desarrollo eléctrico. El MOCIE también es responsable de formular políticas e implementar medidas asociadas al manejo de combustible agotado y residuos radiactivos, excluyendo el tratamiento del combustible agotado y su eliminación.

KHNP: La Korea Hydro and Nuclear Power Co., Ltd, instalación eléctrica de propiedad privada, es responsable de la construcción y operación de plantas de

potencia nuclear y de conducir el negocio de manejo de residuos radiactivos y su I&D asociada.

KAERI: El Instituto Corea de Energía Atómica es un instituto nacional para la investigación nuclear, enfocado al tratamiento y eliminación de residuos altamente radiactivos.

3.9 España

3.9.1 Contexto Energía Nuclear

La utilización comercial de la energía nuclear en España se inició en 1968 y para el 2002 ya habían nueve reactores nucleares en funcionamiento en siete plantas de energía. A finales de 2002, la capacidad de las plantas ascendieron a un total de 7,9 GW (e). En 2002, su producción de electricidad ascendió a 60,28 TWh, correspondiente al 27,2% del total de la producción nacional de electricidad. Actualmente, el país no tiene planes para añadir más capacidad de generación nuclear.

3.9.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos

La mayoría de los residuos radiactivos en España se generan a partir de la operación y el desmantelamiento de las centrales nucleares y, en cantidades más pequeñas, de la fabricación de combustible nuclear. Residuos de alto nivel, junto con los residuos de nivel bajo y de nivel intermedio, se generan a partir de la operación y el desmantelamiento de las centrales nucleares. El combustible nuclear gastado se encuentra actualmente en almacenamiento, así como residuos vitrificados altamente activos del reprocesamiento del combustible consumido en la central nuclear Vandellós 1 y cantidades menores de materiales fisionables recuperados durante el reprocesamiento de combustible consumido de la central nuclear de Santa María de Garoña.

Sobre la base de la actual capacidad instalada de energía nuclear y asumiendo la vida útil de una central nuclear en 40 años, el total proyectado de inventario de residuos de nivel intermedio y bajo (LILW) se estima en 176.000 m3, del cual el

57% (en volumen) representa muy baja actividad de los residuos (VLLW). El inventario total de HLW se estima en 10.000 m3.

3.9.3 Políticas de Gestión de Residuos

España tiene casi el ciclo completo de combustible nuclear, que comprende la minería del uranio, la producción de concentrados de uranio, la fabricación de combustible nuclear, la generación de la energía nuclear, incluida la gestión de residuos radiactivos.

El Gobierno establece las directrices generales de la política nacional sobre la gestión de los residuos radiactivos y combustible nuclear gastado a través del ***Plan de Dirección General de Residuos Radiactivos***. La organización nacional de gestión de residuos de España, ENRESA, opera como una compañía de gestión, cuyo mandato es desarrollar programas de gestión de residuos radiactivos de conformidad con la política y la estrategia aprobada por el Gobierno Español. Anualmente, ENRESA elabora una versión del ***Plan General de Residuos Radiactivos***. Este ***Plan*** hace propuestas para las estrategias y principales actividades que se llevarán a cabo por ENRESA. Es presentado por el Ministerio de Asuntos Económicos al Gobierno para su aprobación y, cuando sea adecuado, con la consiguiente notificación al Parlamento.

Las principales áreas de responsabilidad de ENRESA incluyen:

- Manejo, tratamiento y condicionamiento de desechos radioactivos;
- Diseño del sitio, construcción y operación de almacenamiento centralizado y instalaciones de eliminación
- Preparar los sistemas necesarios para la recolección, transferencia y transporte de desechos radioactivos;
- Clausura y desmantelamiento de instalaciones nucleares;
- Acondicionamiento de la minería del uranio y de los relaves, según sea necesario
- Apoyo a los servicios de protección civil en casos de emergencia nuclear

Según el ***Plan General de Residuos Radiactivos***, la estrategia para la gestión interina del combustible gastado y HLW consiste en almacenamiento en el lugar en las centrales eléctricas. Más concretamente, la estrategia implica:

- Un aumento en la capacidad de almacenamiento de combustible consumido de las piscinas del reactor, en la medida de lo posible.
- Proveer capacidad de almacenamiento adicional utilizando barriles, que incluye la construcción de un almacén de depósito temporal (en funcionamiento en la central nuclear de Trillo desde 2002)
- Construcción de una instalación centralizada de almacenamiento provisional para el año 2010 con el fin de acomodar los HLW (residuos vitrificados y materiales fisionables, derivados de reprocesamiento en el extranjero) devueltos. Esta instalación también se utiliza para almacenar temporalmente otros desechos que no pueden ser eliminados en el depósito de residuos cercano a la superficie de El Cabril, así como de SF que no pueden ser alojados en las centrales nucleares debido a la falta de capacidad en las piscinas del reactor.

Las medidas mencionadas anteriormente deberían permitir un tiempo suficiente para definir el programa complete para la gestión del combustible consumido y de los HLW.

El ***Plan*** establece además que una estrategia específica sobre el eventual destino del combustible consumido y de los HLW se finalizará antes del 2010. Mientras tanto, las siguientes actividades están en marcha:

- No se llevaran a cabo más estudios geológicos hasta que una estrategia esté finalizada; mientras tanto, los datos geológicos existentes se utilizarán para la evaluación de un posible repositorio geológico profundo para la eliminación del combustible consumido y de los HLW.
- Los diseños conceptuales sin sitio específico para un repositorio geológico profundo en granito, arcilla y sal serán modificados para evaluar la capacidad de recuperar los desechos emplazados.

- La evaluación del desempeño seguro de los depósitos geológicos profundos conceptuales incluirá la combinación de información geológica, diseño del repositorio y resultados de I+D. Estas evaluaciones proporcionarán información para la optimización de diseños de repositorios y otros asuntos relacionados.

Con respecto a la política del país sobre desmantelamiento de reactores, el desmantelamiento de la central nuclear de Vandellós 1 es de particular importancia en el contexto actual. El plan de clausura y desmantelamiento para la central nuclear Vandellós 1 fue aprobado por el Gobierno en 1998. La opción técnica seleccionada fue el aplazamiento del desmantelamiento final y de la limpieza del sitio en ~ 25 años con el cierre seguro del núcleo del reactor provisionalmente. Para los efectos de la planificación, se estima que, para otras plantas de energía nuclear, el desmantelamiento completo se llevará a cabo dentro de los tres años de cierre definitivo de los reactores.

3.9.4 Financiamiento

Con respecto al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos en España, un sistema de financiación se ha establecido que se basa en el pago a cuenta en fondos que generan intereses. Esto toma en cuenta la demora entre el momento de la producción de residuos y el momento en que se incurre en los costos asociados a la gestión de los residuos. Los fondos para costear los gastos del fin del ciclo del combustible nuclear y de desmantelamiento del reactor se recogen por medio de un gravamen sobre todas las ventas de electricidad. La tasa se calcula sobre una base anual, teniendo en cuenta la evaluación de los costos y el nivel de los fondos disponibles. Por lo tanto, los ingresos para cubrir la diferencia entre los costes y los fondos disponibles deben ser recogidos durante la vida operativa de las centrales nucleares, actualmente prevista en 40 años.

3.9.5 Autoridades Competentes

MINECO: El Ministerio de Economía es responsable de la aplicación de instalaciones nucleares y de la concesión de licencias.

CSN: El Consejo de Seguridad Nuclear, que se rige por el derecho público y reporta directamente al Parlamento, es la organización responsable de la seguridad nuclear y protección radiológica, y, en general, responsable de la regulación y la supervisión de las instalaciones nucleares

ENRESA: Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, S.A. es una organización perteneciente al estado y responsable de la gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento de instalaciones nucleares en España.

3.10 Suecia

3.10.1 Contexto Energía Nuclear

La utilización comercial de la energía nuclear en Suecia comenzó en 1972 y ya en el 2002 había 12 reactores de energía nuclear, con una capacidad instalada combinada de 9,8 GW (e) y proveyendo 65,6 TW.h de electricidad, conectadas a la red eléctrica, generando ~ 43% del total de la electricidad generada en ese año. Los 12 reactores de potencia comerciales, construidos por empresas particulares en Suecia, se componen de 9 BWR y 3 PWR. Las unidades 1 y 2 del BWR de Barsebäck cerraron en el año 1995 y 2005, respectivamente.

En 1997, una importante decisión política de eliminar gradualmente la energía nuclear en Suecia fue adoptada por el Parlamento

3.10.2 Fuentes y Tipos de Residuos Radioactivos

En Suecia, los desechos radiactivos son generados por medio de la producción de energía nuclear y por el uso de materiales radiactivos en la medicina, la investigación y las aplicaciones industriales. La mayor parte de la misma, sin embargo, se deriva de la operación de las centrales nucleares. Los residuos se dividen en tres categorías principales, según la vida media y niveles de actividad de los radionucleidos que figuran en él. La primera categoría, de corta duración y de residuos de nivel intermedio y bajo (LILW), que incluye los componentes gastados, filtros, etc., se deriva de la operación, mantenimiento y desmantelamiento de las centrales nucleares. La segunda categoría se compone de residuos de alto nivel en forma de combustible nuclear consumido, que

comprende una pequeña cantidad (en una base de volumen), pero contienen la mayor parte de los radionucleidos de corta y larga vida. La tercera categoría es de los LILW de larga vida e incluye, por ejemplo, componentes gastados del núcleo del reactor. Se hace una distinción entre los residuos que se derivan de la operación de una instalación y los que se derivan de su desmantelamiento, pero esto se refiere principalmente a la concesión de licencias de un repositorio. Sin embargo, los residuos son básicamente los mismos independientemente de su fuente, la operación de la planta de energía o el cierre definitivo.

Alrededor del 85% del inventario total de residuos (en volumen) de las centrales nucleares son LILW de corta duración y el resto son LILW de larga vida y combustible nuclear gastado. Incluidos los residuos operativos y de desmantelamiento, el volumen total proyectado de estos tipos de residuos derivados del programa sueco de energía nuclear después de 40 años de operación del reactor se estima en ~260.000 m3.

3.10.3 **Políticas de Gestión de Residuos**

Desde principios del 1970, la política Sueca sobre gestión de residuos radiactivos se ha centrado principalmente en temas de I+D relacionados con la búsqueda de un adecuado y rentable método de eliminación de residuos de combustible nuclear consumido. Suecia ha optado por el vertido directo del combustible nuclear consumido. Actualmente, todo el combustible consumido se envía a la instalación de CLAB para el almacenamiento (almacenamiento en agua con una capacidad de 8000 toneladas de metal pesado) hasta su eliminación. En lo que respecta a la eliminación, cuando el concepto de eliminación KBS-3 fue adoptado en el decenio de 1990, el enfoque cambió a la selección de sitios candidatos para un repositorio geológico profundo, y seguir el desarrollo técnico del concepto de eliminación. La Compañía Sueca de Gestión Nuclear y de Residuos de Combustible (SKB), propiedad conjunta de los operadores de plantas nucleares, está obligada a cumplir con ciertos requisitos legales en cuanto a la investigación y el desarrollo de la disposición final del combustible consumido, además de ser responsable de llevar a cabo el trabajo.

Los planes para los próximos cinco años son seleccionar el sitio para el depósito, y solicitar la licencia para la construcción y el funcionamiento de las instalaciones para la encapsulación y la eliminación del combustible nuclear consumido. La planta de encapsulación y el repositorio se prevé en funcionamiento para el ~2015.

El programa sueco de gestión de residuos radiactivos comprende un sistema de transporte de residuos por mar, un repositorio de eliminación, SFR, para LILW, ubicado en la central nuclear de Forsmark, y una centralizada instalación de almacenamiento provisional, CLAB, para combustible nuclear consumido, en la central nuclear de Oskarhamm. SFR y CLAB son propiedad de SKB. El repositorio de SFR es operado por el Grupo Forsmark Kraft, mientras que la instalación de almacenamiento CLAB es operada por OKG, ambas en representación de SKB.

Tanto el CLAB y el SFR son considerados como piedras angulares en la estrategia del programa de gestión de los residuos nucleares, proporcionando así una base sólida para un mayor desarrollo y perfeccionamiento del sistema de la gestión de los residuos radiactivos.

Los planes Suecos para los repositorios de residuos son los siguientes:

- Un repositorio geológico profundo para el combustible consumido, el SFL-2, está previsto que se construirá en roca cristalina a una profundidad de 500 metros, utilizando el método KBS-3.
- Otros residuos de larga vida se almacenarán hasta que otro depósito previsto, el SFL 3-5, se construya en base rocosa a una profundidad de 300 metros.
- Un depósito para residuos de corta vida de desmantelamiento, el SFR-3, se desarrollará como una extensión del actual depósito de LILW de la operación del reactor, el SFR-1; la posibilidad de concesión de licencias de vertederos de desechos con muy bajo nivel de actividad también existe de acuerdo a la Ordenanza sobre Actividades Nucleares.

Hasta el momento, sólo Suecia ha clausurado y desmantelado un número de pequeños reactores de investigación y laboratorios en Studsvik y en Estocolmo. El combustible consumido de estos reactores se almacena de manera provisional en espera de una decisión sobre su eventual destino. Los residuos radiactivos de desmantelamiento han sido eliminados en un repositorio o se mantienen en almacenamiento provisional. En lo que respecta a los reactores de potencia, el reactor de agua pesada a presión Agesta se cerró en 1974 y está parcialmente desmantelado, y el reactor de agua en ebullición Barsebäck fue apagado en 1999 y ha sido desprovisto de su combustible.

3.10.4 Financiamiento

En Suecia, el ***Fondo de Residuos Nucleares*** fue establecido por la legislación en 1981 para cubrir los gastos de la gestión segura del combustible nuclear consumido, la clausura y desmantelamiento de reactores nucleares, y la investigación y desarrollo llevadas a cabo por SKB. El sistema de financiación está regulado por una ***Ley y Orden***, que trata precisamente de las modalidades de financiación de los gastos en los que se incurrirá en el futuro. Se basa en la recaudación de una tasa en relación con la cantidad de electricidad generada.

El organismo regulador sueco, SKI, examina los costos estimados anuales de las plantas de energía nuclear, que se basan en las estimaciones de costos preparado por el SKB, y posteriormente se hace una recomendación al Gobierno sobre el tamaño de la tasa para el próximo año. Luego, cada año, el Gobierno fija la tasa por kWh de electricidad generada en cada planta de energía nuclear. El tamaño de la tasa se basa en el supuesto de que cada reactor genera electricidad durante 25 años.

3.10.5 Autoridades Competentes

SKI: La Inspección Sueca de Energía Nuclear es un organismo regulador del gobierno responsable de regular la gestión de residuos radiactivos y la seguridad de las instalaciones nucleares, así como la revisión de los programas de I+D de SKB.

SSI: La Autoridad Sueca de Protección Radiológica es el organismo regulador del gobierno responsable de los reglamentos en el ámbito de las radiaciones ionizantes.

KASAM: El Consejo Nacional Sueco de Residuos Radiactivos, un comité asesor del Gobierno, lleva a cabo una revisión independiente del programa de I+D de SKB.

SKB: La Compañía Sueca de Gestión Nuclear y de Residuos de Combustible fue creado conjuntamente por las empresas de energía nuclear para desarrollar y aplicar medidas de disposición final.

4 BARRERAS A LA ENTRADA DE PRIVADOS EN UN PROGRAMA NUCLEO-ELECTRICO

4.1 Compromiso Nacional a Largo Plazo

Las experiencias de diversos países con programas de energía nuclear maduros como componentes de la matriz energética indican que un elemento esencial para atraer al sector privado a participar en esta industria es asegurar un fuerte compromiso del gobierno con un programa de energía nuclear nacional. Habrá importantes inversiones iníciales requeridas desde el sector privado para entrar en el mercado chileno, sin retornos a corto plazo, por lo tanto, la continuidad y la estabilidad en las políticas gubernamentales relativas a la energía nuclear son imprescindibles. Mitigar el riesgo del compromiso a largo plazo por parte del gobierno, requerirá de un consenso entre un amplio espectro político acerca del papel que tiene que desempeñar un programa de energía nuclear en la matriz energética de Chile, asegurando así que un futuro cambio en el poder político no descarrilará el camino de la energía nuclear en Chile.

Como se indicó antes, todos los países analizados cuentan con fuertes organizaciones públicas dedicadas exclusivamente al programa de energía nuclear desde las primeras etapas del establecimiento de dicha industria, mediante el desarrollo de un Plan de Acción, especificando diversas acciones que deben tomarse, la identificación de las organizaciones responsables, y los plazos en el que las acciones van a ser completados.

La más clara señal del compromiso a largo plazo desde el sector gubernamental para entrar en un programa de energía nuclear sería la opción discutida en otras secciones del informe, con una sociedad de participación mixta pública/privada con el gobierno como un importante socio de la empresa, reduciendo al mínimo los diferentes riesgos del sector privado.

4.2 Ley de Seguro de Responsabilidad Civil

Uno de los principales obstáculos para la participación del sector privado en un programa de energía nuclear es la potencial responsabilidad por daños producidos como consecuencia de accidentes radiológicos en las instalaciones nucleares y durante el transporte de materiales nucleares y/o desechos nucleares. Todos los países con centrales nucleares tienen su propia "Ley de responsabilidad nuclear", que básicamente limita la exposición de los operadores de una planta nuclear en caso de un accidente nuclear.

El propósito de la Ley de responsabilidad nuclear es doble: para asegurar que los fondos están disponibles para proporcionar una compensación financiera a terceros en caso de daño o accidente, y para establecer un régimen de responsabilidad nuclear

http://www.world-nuclear.org/info/inf67.html?terms=nuclear+liability

Responsabilidad Civil por Daños Nucleares – WNA

Los operadores de plantas de energía nuclear y, por tanto, potencialmente el sector privado, son responsables de los daños causados por ellos, independientemente de la culpa. En la mayoría de los países, los operadores deben tener un seguro para hacerlo. Dado que existe el potencial que un accidente nuclear conlleve consecuencias en otras fronteras, las leyes nacionales como la Ley de Responsabilidad Nuclear se complementan con una serie de convenios internacionales.

Resumidamente, dos convenciones separadas, la Convención de Viena sobre Responsabilidad de Terceros en Materia de Energía Nuclear de la IAEA que entró en vigencia en 1977 (firmado por Argentina, Bulgaria, República Checa, Hungría, Lituania, México, Polonia, Rumania, Rusia, Eslovaquia, Ucrania) y el Convenio de París de la OECD, que entró en vigencia en 1968 (firmado por Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Países Bajos, Noruega, Eslovenia, España, Suecia, Reino Unido). Estos dos convenios fueron vinculados por el

Protocolo Común, adoptado en 1988. Se basan en el concepto de derecho civil y compartir una serie de principios, entre ellos:

- La responsabilidad se canaliza exclusivamente por los operadores de las instalaciones nucleares
- Responsabilidad de los operadores es absoluta (responsable, independientemente de la culpa)
- Responsabilidad del operador está limitada en cantidad y tiempo
- El operador deberá mantener un seguro para una cantidad que corresponde a su responsabilidad de los límites determinados por el país anfitrión. Más allá de este nivel, el país anfitrión puede proporcionar la financiación pública.

Tras el accidente de Chernobyl en 1986, hubo un aumento en las actividades relacionadas con la seguridad y las responsabilidades y el IAEA incentivó el Protocolo en Conjunto relativo a la aplicación de la Convención de Viena y el Convenio de París que fue aprobado en 1988 y entró en vigencia en 1992. Esfuerzos adicionales en 1997 dieron lugar a la Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares (CSC). Los Estados Unidos recientemente ratificaron este acuerdo y debería entrar en vigencia pronto. Todos los signatarios están obligados a contribuir colectivamente en base a la capacidad nuclear instalada y establece la posibilidad de limitar la responsabilidad del operador en no menos de 300 millones de Derechos Especiales de Giro (SDR) o alrededor de 360 millones de euros totales.

En 2004, las partes contratantes de la Convención de la OECD en París firmaron un Protocolo de Modificación que condujo al Convenio de París a estar más en consonancia con el convenio de la IAEA. Ahora los límites de la responsabilidad son los siguientes: Operadores (asegurado) 700 millones de euros - el país anfitrión (fondos públicos) 500 millones de euros - La contribución del Estado 300 millones de euros.

Más allá de estas provisiones, hay una aceptación tácita de que el país anfitrión pondrá a disposición fondos para cubrir cualquier cosa en exceso de estas provisiones.

Debe señalarse que en la actualidad los estados con la mayoría de los 440 reactores de energía nuclear del mundo aún no son parte de ninguna convención internacional de responsabilidad nuclear, basándose en su propio acuerdo.

A fin de mitigar el riesgo de la participación del sector privado, el sector público tendría que asumir algunas de las responsabilidades y convertirse en uno de los signatarios del protocolo de la IAEA.

4.3 Potenciales Barreras Regulatorias

Otra barrera potencial para el sector privado puede ser el importante costo financiero en el que se puede incurrir debido a los estudios de viabilidad, estudios de ingeniería preliminar, las evaluaciones ambientales, el establecimiento de diferentes acuerdos, etc. que pueden ser posteriormente rechazados por los organismos gubernamentales debido a la falta de una normativa clara y concesión de licencias a expertos por las partes implicadas. Una posible mitigación de este potencial problema puede ser proporcionar la financiación pública de los estudios iníciales que se llevará a cabo por grupos internacionales y consultores con experiencia en la ejecución de estos estudios en los países con programas nucleares. Esta financiación pública podría ser devuelta en el caso de que el proyecto sea aprobado y aplicado de conformidad con un acuerdo contractual.

4.4 Riesgo de Nacionalización

Aunque no es un escenario probable, la posible nacionalización de la industria de generación de electricidad en el futuro, debido a su naturaleza como un servicio esencial, deberían ser evaluados. Este comentario se hace debido a que recientes riesgos relacionados con la nacionalización se están produciendo en países de la región como Bolivia y Venezuela. Los acuerdos contractuales realizados en las primeras etapas de las negociaciones pueden introducir cláusulas que indican la posible participación de grupos de arbitraje internacional, aunque los gobiernos

locales pueden desechar su participación en etapas posteriores. La participación activa de los gobiernos locales y otros instrumentos financieros tales como los incentivos para acelerar la recuperación de las inversiones iníciales pueden mitigar los riesgos de la nacionalización.

4.5 Ejemplos de Éxitos y Fracasos Iníciales en la Eliminación de Barreras

Finlandia es un buen ejemplo donde la propiedad mixta entre el sector público (alrededor del 50%) y el sector privado puede dar lugar a una colaboración eficaz que ha eliminado los obstáculos potenciales. Sus cuatro reactores nucleares proporcionan el 27% de la electricidad y el quinto reactor ha sido aprobado en 2002 y empezará a funcionar en 2012. Finlandia por su ubicación geográfica tiene un muy alto consumo eléctrico per cápita y sus 4 reactores se encuentran entre los más eficientes del mundo, con un promedio de factor de capacidad de 94% (http://www.world-nuclear.org/info/inf76.html)

Su funcionamiento ha sido muy exitoso a través de los años y los reactores han ampliado su vida útil a 60 años, sujeto a evaluaciones de seguridad cada década.

Experiencias menos exitosas han sido descritas en otras secciones del informe en países como Argentina y México, donde las plantas han sido completamente de propiedad del sector público. Por ejemplo, la construcción de la planta de Laguna Verde en México tuvo un retraso de 13 años con un significativo costo por atraso y eventualmente con operaciones poco confiables.

(http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/1989_bull_atom.pdf).

5 SEGURIDAD Y SALUD EN PROGRAMAS NUCLEARES

5.1 Introducción

Seguridad, Salud, Medio Ambiente y Calidad son todos aspectos críticos de programas nucleares exitosos.

5.2 Salvaguardias y Seguridad Nuclear

Para programas nucleares, una estructura federal regulatoria y una estructura fiscalizadora es la norma. Esto es importante en las áreas de seguridad y salvaguardias internacionales. De importancia particular son los requisitos internacionales para países con producción eléctrica nuclear de ser signatarios del tratado sobre no proliferación, claramente la responsabilidad del gobierno federal o central.

Con respecto a la seguridad de las instalaciones nucleares, aunque el operador y las autoridades locales y regionales tienen responsabilidades importantes, el gobierno federal (o central) tendrá la responsabilidad general de asegurar la seguridad de las plantas de potencia nucleares y de los materiales nucleares. Es importante recalcar que las plantas nucleares son muy seguros. Luego de los atentados del 11 de septiembre de 2001, El USNRC se comprometió a conducir estudios de seguridad de las plantas de potencia nucleares en los Estados Unidos y llegó a la conclusión que el potencial de liberar materias radiológicas que afecten la salud del público y la seguridad es muy improbable en casos de atentados de terrorismo. Esta es una importante consideración debido a que preocupaciones acerca de la seguridad del público son una de los temas más discutidos en debates del posible uso de energía nuclear.

Para países que recién entran a la producción de energía nuclear, el IAEA tiene a su disposición muchos recursos para el apoyo de iniciativas relacionadas con la seguridad nuclear, entre ellas, paquetes de cooperación que le prestan asistencia a los recién llegados con tecnologías y diseño de reactores, construcción, consejo en lo referente al fomento de capacidad y entrenamiento entre otras áreas. Además IAEA provee revisiones independientes de las

estructuras gubernamentales y redimes regulatorios requeridos para apoyar a la energía nuclear.

El IAEA organiza talleres en seguridad de programas nucleares y ha desarrollado una colección importante de publicaciones relevante, por ejemplo “Marcos Gubernamentales y Regulatorios de Seguridad” (DS0415), “Proceso de Concesión de Licencia para Instalaciones Nucleares” (DS416) y e Seguridad para Gobiernos (DS-4241).

Rendimiento de recursos humanos es un aspecto crítico en las la seguridad de instalaciones nucleares. En este aspecto, el IAEA ha sido muy activo y ha desarrollado una herramienta electrónica para compartir la experiencia colectiva de la industria nuclear. Esta herramienta, referida como “Catálogo de Entrenamiento de Electrónica Nuclear (ENTRAC), es un recurso mantenido por el IAEA que contiene información recogidos por el IAEA y operadores nucleares en muchos países en una amplia variedad de cuestiones importantes relacionados con la industria de energía nuclear, entre otros, gestión de recursos humanos, mejoramiento del rendimiento de estos recursos humanos, cursos de entrenamiento, etc.

Además de la considerable ayuda internacional disponible para los países nuevos a la energía atómica a través del IAEA, los proveedores de las plantas de energía atómica proporcionan conocimiento y maestría con su experiencia en sus países de origen así como experiencia obtenida al introducir sus tecnologías en otros países nuevos en el tema nuclear. Además, con acuerdos bilaterales, los países proveedores pueden proporcionar apoyo con respecto a su experiencia de los sistemas regulatorios, experiencia operacional de reactores diseñados por el proveedor , entrenamiento y capacitación en temas relacionados con la seguridad nuclear, entre otros temas, que resultan de gran ayuda a desarrollar nuevos programas de la energía atómica.

Sistemas de seguridad física son necesarios para prevenir la entramad no autorizada a la planta de producción, manipulación de sistemas de seguridad, propiedad, eliminación no autorizada de material o equipo de la propiedad, y para la vigilancia. Procedimientos de seguridad también son necesarios para dar

notificación externa a gestión de situaciones de emergencia o de reportes de ciudadanos preocupados. Estos programas son de carácter confidencial y serían aprobados por la autoridad nacional. Ejercicios para evaluar los programas de seguridad serían conducidos por el operador y en forma independiente por la autoridad nacional.

Por último, un plan de emergencia nuclear será coordinado por la autoridad federal (o central) y que una respuesta efectiva requerirá cooperación entre el gobierno nacional y local en las fases de planificación, preparación y reacción.

5.3 Salud

Peligros convencionales a los trabajadores nucleares, por ejemplo, riesgos de caídas, riesgos de levantamientos, de ser expuestos a productos químicos peligrosos, etc., son comunes a otras industrias y no serán comentados en esta sección.

La exposición a la radiación a trabajadores de energía nuclear (NEWs), son controladas por medio de programas completos de gestión a la radiación, que incluyen planificación detallada de programas de trabajos de radiación, monitoreo y el uso de limites de control de dosis internas. La aplicación de programas como ALARA ((as low as reasonably achievable) que equivale a “tan bajos como sea razonablemente alcanzables, tomando en consideración factores sociales y económicos)) ayudan a asegurarse que los trabajadores nucleares sean expuestos a las radiaciones muy bajas.

Operadores de plantas de potencia nucleares mantienen amplios programas de dosimetría que aseguran que las dosis ocupacionales de radiación ionizadas recibidas por los trabajadores de la energía nuclear sean monitoreadas y documentadas. Estas dosis son mantenidas en las estaciones y también son reportadas a las autoridades nacionales. En Canadá por ejemplo, los operadores nucleares deben reportar la dosimetría de los trabajadores a los reguladores nacionales (Canadian Nuclear Safety Commission) y también proveer la información de la dosis de cada trabajador al Registro de Dosis Nacional (NDR)

que es mantenido por la Oficina de la Protección de Radiación del Ministerio de Salud.

A pesar que los detalles varían de país a país, la mayor parte de los países se rigen por los guías de la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación (CIPR), que ha establecido una dosis límite de 100 mSv por un periodo de cinco años de dosimetría. Por motivos prácticos, resulta en un promedio anual de 20 mSv/y. La CIPR también ha establecido una dosis máxima permitida de 50 mSv por un periodo de un año de dosimetría. Experiencia en la industria nuclear de potencia ha demostrado que la dosis actual de empleados de plantas nucleares (NEW) están bien bajo estos límites, típicamente en el orden de unos pocos mSv/y por gran parte de los trabajadores.

Con respecto a trabajadores, la mayor parte de los países han adoptado un límite de dosis de 1 mSv/y por miembros del público, como establecido por la CIPR. En países con programas nucleares de potencia, la dosis de radiación de personas que viven en las cercanías de plantas nucleares con cuidadosamente monitoreadas y reportadas a las autoridades nacionales como también publicadas en sitios locales en la red, operados por las plantas nucleares. Procedimientos para la estimación de las dosis a miembros del público son bien establecidos y han sido probados en muchas aplicaciones en el mundo entero. Dosis a miembros del público de las plantas de potencia nucleares han sido confirmados de ser muy bajo los limites establecidos por las agencias reguladoras, con unas pocas décimas de μSv/a (< 0.1 mSv/a) por gente que vive inmediatamente al lado de plantas de potencia nuclear. Dosis de esta magnitud son de una fracción muy baja y similar a la radiación natural que es de alrededor de 2.4 mSv por año, de acuerdo a UNSCEAR 2000 +(Comité Científico de las Naciones Unidas en los efectos de radiación atómica) y no se puede diferenciar de las variabilidades en las dosis del ambiente.

5.4 Medio Ambiente

Antes de desarrollar una planta nuclear de potencia, existe un requisito de determinar la línea de base par las condiciones ambientales. Los efectos de

operaciones a futuro de plantas nucleares de potencia pueden ser medidos en comparación con las condiciones de las líneas de base. El IAEA y la mayoría de las autoridades nacionales proveen dirección en este tema. Además en el ambiente de hoy, la mayoría de los países requieren evaluaciones ambientales completas antes de otorgar la licencia para operar. Estas evaluaciones ambientales describen la actividad a proponer, en este caso una planta de potencia nuclear, y una evaluación de los efectos potenciales del proyecto en la gente y el medio ambiente.

Las evaluaciones ambientales incluyen además una descripción del monitoreo ambiental para el reactor. Los programas de monitoreo son muy completos y no solo incluyen mediciones de parámetros físicos (aire, agua) pero también de la biota local, como también la demografía y los padrones del consumo de alimentos. Todos estos parámetros son importantes para determinar la dosis a las personas que viven en la cercanía de las plantas de potencia. Los procedimientos de monitoreos ambientales son revisados frecuentemente por la autoridad regulatoria y actualizado como sea necesario.

5.5 Programas de Calidad

Operadores de plantas de potencia nucleares tendrán programas de calidad completos, frecuentemente certificados por un estándar ISO o un equivalente nacional. Certificación a un estándar internacional como ISO 9001 y ISO 14001 demuestra un compromiso a un rendimiento de calidad. Para asegurar la implementación de estos compromisos de calidad, existen procedimientos para definir las responsabilidades organizacionales y provén procesos claros y efectivos para obtener los objetivos de calidad para las plantas.

6 LOS COMPROMISOS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE SALVAGUARDIAS DE PROLIFERACIÓN NUCLEAR Y PREVENCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A ACCIONES TERRORISTAS

6.1 Introducción

Una de las grandes preocupaciones a nivel internacional en relación a la utilización de la energía nuclear la constituye la proliferación nuclear, es decir, que países no poseedores de armas atómicas puedan llegar a fabricarlas, en particular al margen de los sistemas internacionales de control de tales armas. En la medida que ha transcurrido el tiempo desde el descubrimiento de la energía nuclear y sus primeras aplicaciones, tanto militares como pacíficas, y que las técnicas y tecnologías se han hecho cada vez más disponibles para un grupo creciente de países, ha aumentado el temor de que más países puedan acceder a este tipo de armas. Conscientes de esta preocupación, la comunidad internacional, representada por las Naciones Unidas, estableció el Tratado para la No Proliferación de las Armas Atómicas (conocido por sus siglas como TNP), el cual a la fecha ha sido ratificado por 189 países. Chile es uno de los países que ha adherido a tal Tratado, por lo cual todas sus cláusulas y responsabilidades le son plenamente aplicables. El tratado reconoce explícitamente la existencia de países que si poseen armamento nuclear y que forman parte del Grupo Permanente del Consejo de Seguridad de la ONU: Estados Unidos, China, Reino Unido, Francia y Rusia (como continuador político de la desaparecida Unión Soviética).

La responsabilidad por velar que las actividades nucleares que llevan a cabo los países signatarios no violen los compromisos establecidos en el TNP recae en la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA ó IAEA por sus siglas en inglés). Por lo tanto, esta Agencia tiene la doble tarea de incentivar los usos pacíficos de la energía nuclear, en particular la generación de potencia, y por otro lado evitar, que como consecuencia de tales actividades, los países logren desarrollar la capacidad de fabricar armas atómicas, e incluso lleguen a materializar la posesión efectiva de armas atómicas.

6.2 Responsabilidades de las partes al tratado

Las principales responsabilidades que adquieren los países signatarios del TNP quedan establecidas en los artículos de mismo, los más representativos de los cuales se resumen a continuación:

Artículo 1. Los países poseedores de armas atómicas se comprometen a no transferir, a ningún país receptor, armas atómicas, u otros artefactos nucleares explosivos, como tampoco a ayudar o asistir a ningún país no nuclear a manufacturar o adquirir tales armas.

Artículo 2. Cada uno de los países no poseedores de armas atómicas se compromete a no recibir, de ninguna fuente, armas atómicas u otros artefactos nucleares explosivos; como tampoco a manufacturar o adquirir tales armas o dispositivos, y a no recibir ninguna asistencia o ayuda en su manufactura.

Artículo 3. Cada uno de los países no poseedores de armas atómicas se compromete a establecer un acuerdo con la AIEA para la aplicación de salvaguardias a todo el material nuclear empleado en todas las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear de tal país, y a prevenir la diversión de tal material para armas atómicas o para otros artefactos explosivos.

Artículo 4. a) Nada de lo establecido en el Tratado debe ser interpretado como que pueda afectar al derecho inalienable de los países miembros del Tratado para desarrollar, investigar, producir y emplear la energía nuclear con fines pacíficos sin discriminación y de acuerdo a los artículos 1 y 2 del Tratado. b) Todos los países signatarios se comprometen a facilitar y tener el derecho de participar, en el máximo intercambio posible de equipos, materiales e información científica y tecnológica para los usos pacíficos de la energía nuclear, sin discriminación y de acuerdo a los artículos 1 y 2 del Tratado. Los países signatarios que están en condiciones de hacer eso deberán también cooperar en contribuir en forma independiente o en conjunto con otros Estados u organizaciones internacionales para el desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, especialmente en los territorios de los países no poseedores de armas atómicas

parte del Tratado, prestando especial consideración a las necesidades de las áreas en desarrollo del mundo.

Articulo 6. Los Estados se comprometen a llevar a cabo negociaciones de buena fe en relación a medidas efectivas para el cese de la carrera armamentista nuclear en el corto plazo y al desarme nuclear sujeto a control internacional.

Artículo 10. Establece el derecho de retirarse del Tratado dando tres meses de aviso previo (sólo se ha adherido a esta cláusula Corea del Norte), y una duración original del mismo de 25 años, que fue extendida en 1995.

Teniendo en consideración que Chile es signatario del TNP las responsabilidades anteriores le son totalmente aplicables, en particular aquella referida a las salvaguardias de los materiales empleados en las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. A la fecha estas salvaguardias entre el Gobierno de Chile y la AIEA se encuentran plenamente vigentes y todos los materiales de interés nuclear se encuentran bajo un estricto sistema de control. La CCHEN es la organización designada por el Gobierno para representar los intereses de Chile ante la AIEA en materias de salvaguardias.

6.3 Acuerdos Internacionales

En virtud de las responsabilidades establecidas en el TNP, una serie de acuerdos internacionales son necesarios para acceder al mercado internacional de equipos para plantas nucleares, suministro de combustible nuclear, servicios del ciclo del combustible, y la importación de servicios de apoyo a la tecnología nuclear. Suministros de materiales y equipos nucleares han sido durante largo tiempo objeto de las salvaguardias de la AIEA para asegurar usos exclusivamente pacíficos. La mayoría de los estados proveedores, además, se han adherido al Tratado de No Proliferación (TNP), o tratados internacionales parecidos con garantías contra la proliferación, un requisito previo para el suministro de materiales y equipos nucleares. Esto también requiere que el país receptor acepte un acuerdo de salvaguardias con la AIEA, abarcando todas las actuales y futuras actividades nucleares en el país. Además, los países proveedores normalmente

insisten en un acuerdo bilateral, que abarca los materiales nucleares y suministro de la tecnología. También hay una serie de tratados, que puede beneficiar al país receptor o aumentar su credibilidad.

Los tratados internacionales importantes incluidos son:

- TNP o tratados regionales, como el de Tlatelolco
- Acuerdos de salvaguardia con la OIEA
- Cooperación bilateral y acuerdo (s) de suministro
- Grupos de proveedores nucleares
- Convención sobre Responsabilidad Nuclear - París, Viena (puede servir como base para el Derecho de Responsabilidad Nuclear Nacional)
- Convención de Notificación Temprana de Accidentes Nucleares
- Convención de Asistencia en Caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica
- Convención sobre Protección Física de Material Nuclear
- Convención de Seguridad Nuclear
- Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos.

Por lo anterior, si Chile decide efectivamente materializar la opción de centrales nucleares de potencia, se verá en la necesidad de establecer tratados bilaterales con los países proveedores de combustible nuclear, material y equipos para las centrales respectivas. Asimismo, se deberá analizar la postura oficial del Gobierno ante algunos de los tratados indicados previamente con el fin de asegurar que dentro del contexto de la no proliferación y la seguridad nuclear no queden aspectos que puedan ser esgrimidos como insuficientes para no proveer combustible o tecnología esencial para la construcción y normal funcionamiento de las centrales

6.4 Protección contra actos terroristas

En relación a este tema hay dos aspectos a considerar: la protección física de las instalaciones nucleares, y la protección de los materiales nucleares para evitar que los mismos puedan ser sustraídos por agentes terroristas.

Respecto a la protección física de las instalaciones nucleares, a nivel de diseño de las centrales de potencia se debe establecer perímetros de acceso controlado, con el propósito de evitar el posible ingreso de personas no autorizadas a las instalaciones de carácter nuclear. Por lo anterior, dentro de la superficie a ser adquirida para el emplazamiento de las centrales de potencia se debe considerar el espacio amplio que establece las zonas de protección física de las instalaciones. Asimismo, se debe contar con el personal de protección física que resguarde el perímetro y controle el acceso por las vías autorizadas. Esto requiere contar con un cuerpo de protección entrenado y preparado para llevar a cabo funciones de seguridad. En el caso de Chile, la legislación vigente establece que la protección física de las instalaciones nucleares recae en el Ejército, por lo cual los programas de desarrollo de centrales de potencia deben ser coordinados con tal cuerpo castrense, en particular con la Guarnición Militar correspondiente a la zona geográfica donde se vaya a instalar cada central, objeto se cuente con el personal en cantidad y entrenamiento para cumplir las funciones de resguardo físico.

Respecto a los actos terroristas relacionados con los materiales nucleares, el principal temor a nivel internacional es de que grupos armados para-militares puedan apropiarse de material de interés nuclear, en particular material que pudiera ser empleado para la fabricación de armas atómicas, o para la diseminación de material radiactivo que en dosis colectivas excesivamente altas pudiera causar daño colectivo a la población. Esto exige la protección física del material nuclear, en particular de uranio enriquecido y de material de desechos nucleares de alta actividad. Si el país decide adquirir en el extranjero combustible nuclear de muy bajo enriquecimiento para satisfacer las necesidades de centrales de potencia de agua ligera, cuyo nivel de enriquecimiento no puede exceder del 5%, se debe asegurar la protección física de los elementos combustibles nuevos para evitar que los mismos sean robados o destruidos. Debido al tamaño y peso de los mismos, la protección física de los elementos combustibles nuevos es relativamente fácil, debiendo estos ser transportados con escolta policial para evitar actos de apropiación indebida, y almacenados en centros de acopio

debidamente asegurados en el interior de las instalaciones sometidas a protección física. Esto a la fecha considera el control de acceso de individuos debidamente autorizados y el uso de cámaras de video asociadas a sistemas de grabación y monitoreo remoto.

Respecto a la posible sustracción de material radiactivo de alta actividad, debido a que en Chile no se tendría contemplado el reprocesamiento del combustible irradiado, no quedaría material físil al alcance de grupos terroristas (en particular plutonio de calidad militar), como tampoco material radiactivo de muy alta actividad que pudiera ser empleado con fines terroristas. Por lo peligroso de su manipulación, que grupos terroristas lleguen a ser capaces de sustraer elevadas cantidades de material radiactivo de alta actividad se puede considerar un escenario de muy baja probabilidad de ocurrencia.

Pese a todo lo anterior, en todas las instalaciones nucleares se debe emplear estrictos procedimientos de contabilidad de material nuclear, objeto evitar que cantidades pequeñas de éstos puedan ser sustraídos inadvertidamente. Como parte de las salvaguardias con la AIEA a las cuales se somete el material nuclear objeto de transacciones internacionales, se incluye un estricto procedimiento de contabilidad y trazabilidad del mismo. A la fecha estos procedimientos se aplican estrictamente en todas las actividades que en Chile lleva a cabo la CCHEN.

6.5 Bibliografía

1. International Atomic Energy Agency, Choosing the Nuclear Power Option: Factors to be Considered. IAEA, Vienna (1998).

2. International Atomic Energy Agency, Managing the First Nuclear Power Plant Project. IAEA-TECDOC-1555, Vienna Vienna (2007).

3. International Atomic Energy Agency, Fundamental Safety Principles. IAEA Safety Standards, No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).

4. International Atomic Energy Agency, Handbook on Nuclear Law. IAEA, Vienna (2003).

5. International Atomic Energy Agency, Legal and Governmental Infrastructure for Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety. Safety Standards Series No. GS-R-1, IAEA, Vienna (2000).

6. International Atomic Energy Agency, IAEA Safeguards: Guidelines for States' Systems of Accounting for and Control of Nuclear Materials. Safeguards Information Series No. IAEA/SG/INF/2, IAEA, Vienna (1980).

7. International Atomic Energy Agency, Convention on the Physical Protection of Nuclear Material. Legal Series No. 12, IAEA, Vienna (1982).

8. International Atomic Energy Agency, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. IAEA, Vienna, 1998.

7 MODELOS DE INTERACCIÓN CON AGENTES INTERNACIONALES

7.1 Introducción

En esta sección se pretende definir cómo sería la interacción de una operación de generación núcleo-eléctrica en Chile, con los distintos agentes internacionales que participan de alguna manera en el proceso extendido, que incluye todos los aspectos de construcción, operación, provisión de combustible, manejo de residuos, entre otros.

Para lograr definir esta interacción se tomó la información de los países en revisión y cómo ellos interactúan con los organismos internacionales, tomando en consideración la situación de cada país en términos de matriz energética, provisión de combustibles, experiencia de generación núcleo-eléctrica, entre otros.

Para acotar y definir de una mejor forma la interacción de una eventual planta en Chile con agentes internacionales, es necesario establecer algunos supuestos o premisas que de mencionan a continuación:

- No existe experiencia ni de construcción ni de operación de plantas en el país.
- Chile no desarrollará tecnología nuclear en el corto y mediano plazo, por lo que requerirá de tecnologías disponibles en el mercado internacional.
- La operación núcleo-eléctrica de Chile requerirá de combustible radioactivo que será importado, al menos en los primeros años de operación.
- Los desechos serán dispuestos en Chile, exceptuando material altamente combustible que será enviado a algún país que recicla combustible.
- Chile no tendrá la capacidad de reciclar combustible nuclear y radioactivo, al menos en los primeros años de operación de las plantas de generación núcleo-eléctricas.

Con estos supuestos definidos, a continuación se expondrá la interacción que tendría una operación de este tipo en Chile con distintos agentes internacionales.

7.2 Agencias internacionales

Sin duda, la principal agencia de energía nuclear es la IAEA, Chile como firmante del tratado de no proliferación se compromete ante esta agencia a utilizar la energía nuclear sólo con fines pacíficos. La interacción de una operación nuclear en el país con esta agencia sería principalmente de 2 maneras:

7.2.1 IAEA como agente controlador y fiscalizador:

Como se mencionó arriba, la IAEA es el organismo mundial a cargo de controlar las operaciones nucleares de cualquier tipo en el país y de garantizar la utilización segura y sin fines bélicos de esta energía.

Bajo ese rol, la interacción de una operación nuclear con esta agencia sería a través de la fiscalización de la construcción, operación y manejo de residuos de las operaciones de generación núcleo-eléctrica del país, donde Chile se compromete a realizar operaciones bajo los estándares propuestos por esta agencia y donde ella puede en cualquier momento enviar inspectores que revisen las plantas, detecten anomalías e incluso clausuren la operación en caso de estimarlo conveniente. Bajo este marco, las operaciones de generación núcleo-eléctricas del país deben en todo momento considerar las recomendaciones y estándares propuestos por esta agencia y establecer una relación de cooperación y cercanía para evitar caer en incumplimientos involuntarios. Además, la operación local deberá informar en todo momento la compra de combustibles y el destino de los desechos a esta agencia, quien hace realiza trazabilidad del Uranio y otros combustibles nucleares para evitar que sea utilizado con fines bélicos o no autorizados.

7.3 IAEA como agente proveedor de información y recomendaciones:

El segundo rol de la IAEA, toma en cuenta el apoyo de un programa nuclear en todos los aspectos, desde sus inicios como idea, a un proyecto concreto, luego a los estudios preliminares, construcción de los sitios, operación y manejo de desechos y al cierre de plantas. Bajo este rol, la interacción de una eventual operación en Chile sería como un ente que provee información y recomienda

ciertas prácticas a partir de estudios e informes que permanentemente realiza. Bajo esta misma línea, la IAEA pone a disposición de los países información acerca de costos de construcción y operación, prácticas y sistemas de seguridad, parámetros de operación de los sistemas, sugerencias para el manejo de residuos y de combustibles entre otros.

7.3.1 Otras agencias internacionales:

Además de la IAEA, existen otras agencias que también interactuarían con una operación núcleo-eléctrica en el país. Por ejemplo hay un organismo que reúne a todos los operadores de las plantas (WANO), otras que apoyan en el tema ambiental y de manejo de residuos y otras que garantizan la seguridad (NSC). La interacción de una operación local núcleo-eléctrica con estas organizaciones internacionales sería para que éstas entreguen información y apoyo para implementar las mejores prácticas internacionales en cada tema específico y para apoyar con recomendaciones en el caso de que se presenten algunos problemas o situaciones irregulares.

7.4 Interacción entre países

En el ámbito de la energía nuclear es muy común encontrar acuerdos bilaterales entre los países de cooperación y de intercambio de experiencias y profesionales, transferencia tecnológica entre otros.

En el caso de una eventual operación núcleo-eléctrica en el país, también existiría una interacción entre el gobierno de Chile y algunos países más avanzados en el tema nuclear, especialmente de espera una cooperación más importante del país de donde se elija la tecnología que se utilizará.

En este ámbito, la interacción se dará entre el Gobierno de Chile y los países proveedores de tecnología o de algún otro servicio, en base a acuerdos bilaterales de cooperación. Bajo estos acuerdos, se contemplan 3 tipos de interacción entre el Gobierno de Chile y países respectivos:

7.4.1 Acuerdos bilaterales de cooperación:

En general se usa en esta industria que una vez seleccionado el proveedor principal de equipos y tecnología, el Gobierno del país que comenzará las operaciones nucleares realiza un acuerdo bilateral con el país de origen de las empresas proveedoras. En este caso la interacción sería entre el Gobierno de Chile y el del país de origen de las tecnologías y sería a través de este acuerdo bilateral de cooperación que contempla visitas a operaciones, acuerdos de transferencia tecnológica, estudios conjuntos, programas de capacitación y entrenamiento de personas, becas de estudio en universidades donde se realicen programas académicos relacionados al tema nuclear, entre otros.

7.4.2 Acuerdos de suministro de combustibles:

Si bien es cierto, las empresas operadoras de una operación núcleo-eléctrica deben hacerse cargo del suministro de combustibles, para garantizar una continuidad en el mismo, es necesario que el país que requiere este combustible realice un acuerdo de suministro con algún país que sea proveedor, tal como se hizo en Chile con el acuerdo bilateral ratificado por las Naciones Unidas para el caso de la importación de gas natural desde Argentina. En este ámbito, la interacción sería entre el Gobierno de Chile y el país proveedor del combustible a través del acuerdo de suministro, que ojalá sea ratificado por un organismo internacional para darle una mayor validez.

Cabe destacar que un acuerdo similar a este se podría realizar entre el Gobierno de Chile y algún país que reciba los desechos radioactivos.

7.4.3 Permisos de exportación de suministros y tecnología:

Dado que Chile funcionará bajo el marco regulatorio general de la IAEA, es importante destacar que según las normas de la misma organización, la empresa que exporta combustibles, tecnología, equipos, servicios u otros o la empresa que desea importar los desechos radioactivos de algún país debe solicitar un permiso a su país de origen para realizar cualquiera de estas actividades. En este caso la

interacción sería ente la empresa proveedora y su país de origen, pero siendo la operación en Chile el motivo de esta petición.

7.5 Proveedores de equipos y suministros

Este es el agente con el que una operación núcleo-eléctrica tendrá la mayor interacción, ya que una vez seleccionada la tecnología y el proveedor, éste apoyará el proyecto en todo el proceso hasta su puesta en marcha.

En este ámbito, la interacción entre una operación núcleo-eléctrica en el país y el proveedor de tecnología que dado que no existe en Chile, necesariamente debe ser internacional, se da en 3 ámbitos:

7.5.1 Transferencia tecnológica, estudios y capacitación:

Además de los equipos y de la tecnología que entrega el proveedor, debe entregar las herramientas para desarrollar capacidades locales tanto para la operación y mantención de la operación núcleo-eléctrica. Bajo este aspecto, la interacción se da entre la empresa que operará y mantendrá la planta y su proveedor a través de programas de capacitación de personal, estudios de factibilidad de instalación y otros, provisión de personal capacitado en las primeras etapas de construcción y operación y transferencia de tecnología a través del diseño y construcción de algunos componentes tecnológicos en Chile con las capacidades y habilidades locales que fueron desarrolladas por el mismo proveedor.

7.5.2 Apoyo en construcción de la planta y en la puesta en marcha de los equipos:

La interacción también es entre el operador local y la empresa proveedora y se da a través de la entrega del diseño del proyecto de la planta por parte del proveedor, de la revisión de antecedentes y fiscalización de las obras de construcción, el envío de los equipos, el montaje y puesta en marcha de los mismos y de la aprobación final del proyecto antes de comenzar su operación.

7.5.3 Apoyo en la operación y mantención de la planta:

La interacción en este caso también es entre el operador local y la empresa proveedora, y se da a través de la capacitación de personal y la provisión de especialistas que comenzarán con la operación de la planta, para luego gradualmente ir transfiriendo el conocimiento y la responsabilidad a los profesionales locales y lo mismo con los mantenimiento de equipos que serán realizados por el proveedor mientras se capacita al personal local para que luego se pueda hacer cargo también de esta actividad.

7.6 Proveedores de combustible

Como se mencionó en el punto 3, en general es suministro de combustible es garantizado por acuerdos bilaterales entre países. Sin embargo, los contratos y detalles de suministro son pactados ente el operador local y la empresa proveedora de combustible. En este sentido, la interacción entre ambas partes se da principalmente en dos ámbitos:

7.6.1 Contratos de suministro:

Bajo este concepto, la interacción que se da entre las partes es de carácter contractual y tiene por objeto garantizar el suministro del combustible nuclear a un precio determinado por un período.

7.6.2 Trazabilidad y conteo de combustible:

Para cumplir con las normas de la IAEA, es necesario realizar un sistema de trazabilidad y conteo de combustible muy riguroso, para así, evitar que se produzcan fugas o pueda ser robado el combustible y utilizado con fines no autorizados por la IAEA. La interacción entre la operación local y el proveedor es de coordinación y de intercambio de información para que en todo momento se sepa la ubicación del combustible y se lleve una conteo de lo que sale de la planta y lo que llega donde el operador.

7.7 Proveedores de servicios de almacenamiento y disposición de los desechos radioactivos

Como también se mencionó en el punto 3, en algunos casos, la recepción de los residuos radioactivos se hace bajo el marco de acuerdos bilaterales entre países. Sin embargo, al igual que para el caso del suministro de combustible, los contratos y detalles del manejo, almacenamiento y disposición final de los desechos son pactados ente el operador local y la empresa que presta el servicio. La interacción entre ambas partes se da principalmente en dos ámbitos:

7.7.1 Contratos de servicio de almacenamiento y disposición:

Bajo este concepto, la interacción que se da entre las partes es de carácter contractual y tiene por objeto garantizar que los desechos puedan ser exportados al lugar donde serán almacenados determinando un precio por el servicio y condiciones para su neutralización, transporte y almacenamiento.

7.7.2 Trazabilidad y conteo de material radioactivo:

Al igual que en el caso del combustible, para cumplir con las normas de la IAEA, es necesario realizar un sistema de trazabilidad y conteo todo el material de desecho producto de la operación que tenga material radioactivo. La interacción entre la operación local y el proveedor es de coordinación y de intercambio de información para que en todo momento se sepa la ubicación de los desechos y se lleve un conteo de lo que sale de la planta, lo que se está transportando y lo que llega al lugar de almacenamiento y disposición final.

8 DIMENSIONAMIENTO DE LOS RECURSOS HUMANOS

8.1 Introducción

La operación típica de una planta de generación núcleo-eléctrica considera una dotación de entre 200 a 1000 personas, dependiendo del tamaño de la planta.

Dentro de esta dotación, existen una variedad de científicos, ingenieros nucleares, mecánicos, hidráulicos, eléctricos y técnicos a cargo de procesos químicos, instrumentación, seguridad y protección, química, protocolos de emergencia, entre otros.

Surge la necesidad de incorporar la experiencia nacional e internacional para el correcto manejo y operación de las plantas, especialmente en las áreas de neutrónica, física, termo-hidráulica, control de radiación, desechos radioactivos, normas de calidad y mantenimiento (IAEA 2007).

Además del conocimiento específico de cada profesional y técnico de la planta, el equipo necesita 3 o más años de especialización y entrenamiento antes de hacerse responsable de su propia planta. Para la implementación de un proyecto nuclear este proceso de especialización y entrenamiento puede ser incorporado como una parte del contrato con los proveedores de tecnología.

Desde el punto de vista de la cultura del personal que trabajará en la planta, es necesario que esta sea de un rigor, de ética y de disciplina extrema para cumplir con las exigencias de la IAEA en materia de seguridad y de los acuerdos de no proliferación.

El apoyo para capacitar al equipo de la planta, también puede ser entregado por organizaciones no regulatorias como la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO), organización sin fines de lucro que apoya a sus miembros a cumplir los niveles más altos de seguridad operacional, entregando la información de la experiencia en la operación de las plantas de todos sus miembros alrededor del mundo.

El apoyo para la autoridad regulatoria en materias de recursos humanos, materializado a través de la creación de un organismo regulatorio competente, efectivo e independiente, puede ser entregado por el organismo regulatorio del país de origen de los proveedores de tecnología o a través de otras entidades como la IAEA, la Comisión de Protección Radiológica (ICRP) entre otros.

Para las primeras plantas de generación núcleo-eléctricas instaladas en el país, estas necesidades específicas de capacitación y entrenamiento pueden ser satisfechas por proveedores externos. Sin embargo, es recomendable establecer un plan gradual de desarrollo de capacidades y conocimiento en el país a través de un mecanismo de transferencia tecnológica del proveedor y su país de origen.

El desarrollo de un programa académico nacional para formar a los científicos, ingenieros y técnicos necesarios también debe ser considerado dentro del plan de desarrollo de capacidades de cada país (IAEA 2007).

Esta parte del trabajo, se enfocará en los requerimientos de recursos humanos para la operación de una planta de generación núcleo-eléctrica más que en los requerimientos de recursos humanos para materias regulatorias y de desechos radioactivos, ya que estos últimos factores dependerán del tipo de sistema y de la interacción privada-pública que finalmente se decida implementar.

8.2 Factores para determinar la dotación de las plantas de generación núcleo-eléctrica

Para la mayoría de las plantas, el costo mayor de operación está relacionado con el personal que en ella trabaja, por lo que la organización y determinación de la dotación son muy importantes dentro de mercados energéticos competitivos.

La organización y determinación de la dotación también es importante para determinar los sistemas de seguridad y protección. Los operadores eficientes deben alcanzar y mantener altos niveles de seguridad en las operaciones y a la vez deben controlar los costos de operación.

Un estudio realizado por la IAEA en 1998, revisó la dotación y el personal de 54 plantas en 19 países, llegando a la conclusión de que la variación de dotación de las plantas depende de los siguientes factores:

Operaciones:

- Grado de automatización.
- Tamaño y layout de la planta.
- Turnos de mantención menor, protección de la radiación y procesos químicos.
- Grado de flexibilidad laboral del país.
- Cantidad y calidad de las capacitaciones realizadas.
- Rotación de personal.
- Cantidad de personal part-time.

Mantenimiento:

- Disponibilidad de contratistas.
- Flexibilidad laboral.
- Grado de realización de mantenciones preventivas.
- Grado de especialización y multifuncionalidad del personal.
- Diseño y características de la planta.

Ingeniería:

- Número y tamaño de las modificaciones de la planta.
- Disponibilidad de proveedores.
- Características del diseño de la planta.
- Calidad y organización de la documentación.
- Antigüedad y duración de la planta.
- Grado de utilización de sistemas.
- Grado de externalización de la ingeniería.

Seguridad:

- Requerimientos del programa de seguridad.
- Tamaño de la planta.

- Cantidad de radiación y desechos radioactivos.
- Relación con la autoridad.
- Calidad de los programas de capacitación.
- Grado de limpieza y mantención de la planta.
- Grado de especialización de los trabajadores.
- Diseño y características de la planta.

Apoyo y Soporte:

- Capacitación del personal de la planta.
- Utilización de personal multifunción.
- Grado de utilización de informática.
- Relación con los contratistas.
- Grado de descentralización.
- Utilización de sistemas de gestión.
- Amount of training provided to plant staff,

Servicios in Situ:

- Número de servicios sociales entregados por la planta, basados en programas nacionales y en la ubicación de la planta.
- Utilización de personal multifunción.
- Grado de responsabilidad por los desechos radioactivos.
- Políticas de seguridad de la planta y del país.

8.3 Dotación para plantas medianas y pequeñas

Dado que Chile está considerando la instalación de plantas medianas o pequeñas, se realizará un análisis de la dotación para este tipo de plantas:

La dotación total de las plantas medianas y pequeñas es menor que en las plantas grandes. Sin embargo, si analizamos la dotación por MW (e) producido, las plantas pequeñas y medianas tienen una dotación mayor.

Este indicador de rotación por MW (e) se utiliza mucho en métricas e indicadores de eficiencia en la industria nuclear, dada la relevancia de la dotación sobre el costo de operación de la planta. Los datos de dotación de plantas más

antiguas, acorde a un reporte realizado por IAEA en el 2001, son de alrededor de una persona por MW (e) para plantas grandes de una sola unidad. Para unidades pequeñas, se observó una dotación de aproximadamente 1,5 personas por MW (e), mientras que en plantas grandes con más de una unidad, la dotación es de 0,7 personas por MW (e).

Nuevas tecnologías han mejorado la eficiencia de las plantas y se observa una disminución de dotación, que varía acorde al tipo de tecnología que se utiliza.

Las secciones 9.3.2 y 9.3.3 muestran proyecciones de dotación para algunas pequeñas y medianas plantas en Canadá (públicas y privadas) y en España (privadas). Se debe considerar en la comparación que existen diferencias de infraestructura, tecnología y condiciones regulatorias entre ambos casos.

8.3.1 Estimación de dotación para nuevas plantas pequeñas y medianas

El diseño de nuevas plantas pequeñas y medianas incorpora una serie de características operacionales y de diseño que requieren menos personal para operarlas y mantenerlas, manteniendo los mismos estándares de seguridad. Estas nuevas características incluyen la simplificación y estandarización de procesos, sistemas tecnológicos de gestión entre otros. La siguiente tabla muestra los datos de dotación para nuevas pequeñas y medianas plantas recomendadas a partir de un estudio de la IAEA (2001).

Tabla 9.1: Estimación de Dotación para Nuevas Pequeñas y Medianas Plantas de Generación Núcleo-eléctricas (IAEA 2001).

AP600 Plant					
	Conventional Operating 2-Loop Plants in USA				
	Plant 1	Plant 2	Plant 3	Plant 4	AP-600
Units	1	1	2	2	1
Capacity (MW(e))	535	517	1,048	1,186	600-650
Staff *[1]	359	204	479	567	282[2]
Staff/MW(e)	0.67	0.39	0.46	0.48	0.31

[1] Reference: 1997 DOE FERC Form 1.

[2] Staffing analysis compared to current reference, including standard work processes for station operations, configuration control, equipment reliability, materials & services, work control, waste services, training, security, and administrative services. Analysis result of 32% reduction relative to reference plants used with existing plant date to calculate value.

CANDU-6

	Existing Unit Year – 1997	CANDU-6 1st Unit	CANDU-6 2nd Unit	CANDU-6 Twin Unit
Units	1	1	1	2
Capacity (MW(e))	668	668	668	1,336
Staff *	478	467	306	773
Staff/MW(e)	.72	.70	.46	.58

*Includes production, technical, planning, training, business, quality assurance, and health physics functions.

Russian SMRs

	Operating WWER-440s	
	Operating WWER-440s	
	Reference Plant 1st & 2nd Line	Reference Plant 2nd Line
Units	4	2
Capacity (MW(e))	1,760	880
Staff/MW(e)	2.0	1.2

New SMRs

	(WWER-640)
	WWER-640
Units	1
Capacity (MW(e))	640
Main Staff (1)	529
Aux. Staff (2)	92
Staff/MW(e)	0.8

(1) Main staff includes authorities, operation service, repair & maintenance service, engineering service, quality assurance, admin. & management service, admin. and supply service.

(2) Aux. Staff includes capital building management board, equipment delivery group, equipment incoming inspection group, inspection group, medical personnel, fire safe guard, military guards.

Other Russian SMRs

	NP-500	VPBER-600	GT-MHR	ABV-6	GT-MGR	GT-MGR
Units	1	1	1	1	1	4
Capacity (MW(e))	645	640	285	12	262	1,050
Admin. Staff				2		
Repair Staff				36		
Operation Staff	303	273	230	103	166	241
Staff/MW(e)	0.47	0.43	0.81	8.5	0.63	0.23

PBMR (GCR 110 MW(e) module)

	PBMR 1 module	PBMR 10 modules	PBMR 20 modules
Units	1	10	20
Capacity (MW(e))	110	1100	2200
Site staff *	53	80	124
Staff/MW(e)	0.48	0.07	0.06

*No level 3 maintenance, design/engineering, or procedure development staffing on site.

Tal como se observa en la tabla anterior, existe una gran variabilidad de dotación en el diseño de nuevas plantas pequeñas y medianas. Es importante considerar que en los casos en que el diseño es similar a uno que actualmente existe (CANDU, AP-600, VVER) es más precisa la estimación con respecto a la dotación real a implementar que en los casos de diseños más innovadores que no tienen precedente.

Como un patrón común en el diseño de nuevas plantas, se podría decir que se proyecta una dotación promedio de 0,7 personas por MW (e) para plantas pequeñas y medianas de una sola unidad.

8.3.2 Canadá

En una publicación de Atomic Energy Canada Limited (2001) se realizó una evaluación de la dotación para plantas pequeñas y medianas para las plantas en funcionamiento (Tabla 9. 2a) y plantas en etapa de diseño (Tabla 9.2b).

Tabla 9.2a: Dotación de la Unidad Candu 6 (Single) y sus funciones

Staff designation	Staff level	Function
Management (includes VP nuclear)	6	Various corporate support
Station manager	1	Oversee entire plant operation.
Planning	8	Plan, schedule, monitor & coordinate all work.
Store (supply)	20	Material management, spare part storage.
Production manager	1	Manage operation, maintenance, fueling & chemistry.
Operations	89	Operate all plant equipment
Maintenance	151	Maintain all plant equipment
Fueling	28	Operate & maintain fuel handling systems
Chemistry	18	Sample, monitor, initiate action to maintain chemistry specs.
Technical manager	1	Manage technical unit to support production & ensure reactor safety.
Technical EC&I	33	Technical engineering specialist for electrical & instrumentation & control
Technical mechanical	31	Technical engineering specialist for mechanical & process systems
Technical specialists — Safety systems	14	Technical engineering specialist for 4 special safety systems
Technical engineering services	5	Technical engineering specialist for project management & contractor services
Nuclear safety manager	1	Maintain nuclear safety analysis & licensing
Nuclear safety analysis	11	Carry out safety evaluations & special analysis
Regulatory affairs (licensing)	3	Deal with all licensing & related issues
Nuclear safety reliability	4	Practical reliability model, monitor & evaluate plant performance.
Administration manager	1	Manages administration, material procurement, accounts, security etc.
Public affairs	1	Interface with plant and public, media, local community
Budget and cost control	1	Monitor budget and cost
Security	22	Provide plant security
Administrative support (clerical)	38	Services for typing, document management, procurement role.
Training	20	Coordinate & provide training for all staff.
Quality assurance	8	Support the station manager with QA activities.
Health physics	21	Define policy and develop procedures for radiation plant.
Health physics (laboratory)	3	Perform all lab work for dose monitoring programs.
Total staff	534	

Tabla 9.2b: Dotación Proyectada para Nuevas Unidades Candu 6 (Single) y sus funciones

Staff Designation	Pt. Lepreau 1-Unit (1997)	CANDU 6 1st Unit	CANDU 6 2nd Unit	CANDU 6 2-Units
Management (head office)	6	6	1	7
Station manager	1	1	0	1
Planning	6	6	3	9
Stores	18	16	6	22
Production manager	1	1	0	1
Operations	79	81	75	152
Maintenance	141	141	109	250
Maintenance support	0	7	4	11
Fuelling	21	21	19	40
Chemistry	16	16	10	26
Technical manager	1	1	0	1
Technical EC&I	23	21	16	37
Technical mechanical	25	22	18	40
Technical specialists — safety systems	12	12	9	21
Technical engineering services	3	3	2	5
Nuclear safety manager	1	1	0	1
Nuclear safety analysis	11	4	0	15
Nuclear safety licensing	3	2	0	4
Nuclear safety reliability	4	3	1	6
Administration manager	1	1	0	1
Public affairs	1	1	0	1
Budget and cost control	1	1	0	1
Security	21	21	0	21
Administrative support (clerical)	34	32	11	43
Training	18	18	9	27
Quality assurance	8	8	2	10
Health physics	19	17	10	27
Health physics laboratory	3	3	1	4
TOTAL	478	467	306	773

La comparación entre ambas tablas nos muestra una considerable disminución de dotación para el caso de las nuevas plantas. Asumiendo un tamaño promedio de 700 MW (e) para las unidades CANDU 6, la dotación baja de 0,7 a 0,6 personas por MW (e) para una unidad single.

La estrategia de optimización de dotación utilizada por CANDU Reactors, se basa en la selección, entrenamiento y desarrollo de habilidades de los trabajadores y en la disponibilidad de un sistema de gestión que considera fichas escritas de todos los procedimientos. CANDU Reactors considera que la clave es desarrollar un equipo que tenga un amplio conocimiento de los atributos de una planta de generación núcleo-eléctrica. Se debe potenciar la interacción del equipo

de operación de la planta con los proveedores de servicios, tecnología y los fabricantes para mejorar el entendimiento y la relación entre ambas partes.

Otro factor importante es la retroalimentación o feedback de información entre los operadores de la planta y los proveedores para introducir mejoras en nuevos productos y servicios.

La estrategia operacional utilizada en Canadá para los reactores CANDU, consiste en desarrollar capacidades técnicas y de planificación en la misma planta para apoyar las actividades de operación y mantenimiento en todo momento de operación de la planta, para así poder solucionar cualquier problema que pueda ocurrir.

Además, se instauró el concepto de "Composite Trade" entre la administración y los sindicatos de la planta. El objetivo de este plan es entrenar y capacitar a los empleados para aumentar sus conocimientos en nuevas áreas y así aumentar la cantidad de tareas que puede hacer un trabajador.

La experiencia muestra que si se selecciona al personal adecuado, se le entrega un entrenamiento y capacitación adecuados y se diseñan los procedimientos adecuados, el trabajo se hace bien, la seguridad no se ve amenazada y los factores de utilización de la planta aumentan.

8.3.3 España

Un documento escrito por Ibáñez (2001) describe las principales características del sistema nuclear Español, con una capacidad instalada de 7580 MW de 3 sitios de generación.

El estudio muestra que la evolución de la dotación requerida se correlaciona con mejoras en la organización interna de las plantas, políticas de administración, requerimientos regulatorios entre otros.

A continuación se muestra el detalle de dotación para la planta Garoña (BWR-3 de GE con 460 MW (e)). La segunda cifra muestra el personal externo utilizado.

Tabla 9.3a: Evolución de Dotación en la Planta de Garoña, España

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
384/	388/	418/123	391/160	381/171	382/200	387/232	380/182

Tabla 9.3b: Dotación por Áreas Planta de Garoña, España

Areas	Own staff	Contractors
Management and support services	87	122
Tech/Engineering	52	0
Operations	80	0
Maintenance	131	47
Chemistry	12	0
RP+Fire-fighting	18	13
TOTAL	380	182

Otro ejemplo dentro del contexto de generación núcleo-eléctrica Español es la planta de Trillo (Siemens de 1066 ME (e) en operación desde 1988. La evolución y la dotación por área se muestran en las tablas 9.4a y 9.4b. La segunda cifra muestra el personal externo utilizado.

Tabla 9.4a: Evolución de Dotación en la Planta de Trilla, España

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
415/373	414/313	411/244	402/240	396/236	392/205	387/181	383/175

Tabla 9.4b: Dotación por Áreas Planta de Trilla, España

Areas	Own staff	Contractors
Management and support services	85	62
Tech/Engineering	47	21
Operations	96	3
aintenance	117	55
Chemistry	15	2
RP+Fire-fighting	23	32
TOTAL	383	175

Algunas instituciones relacionadas al ámbito nuclear indican que un equipo normal para una planta pequeña o mediana moderna debería tener menos de 400

personas, tomando en consideración la experiencia de plantas ya construidas en el pasado, su evolución, la tecnología disponible entre otros.

Lo anterior indica que es posible operar una planta pequeña o mediana con niveles muy altos de eficiencia y seguridad con 0,5 a 0,6 personas por MW (e) para unidades singles.

8.4 Resumen

La dotación requerida para plantas pequeñas y medianas es definitivamente menor que para las plantas grandes. Sin embargo, si analizamos la métrica de personas por MW (e) producido de la planta, encontramos que para pequeñas y medias plantas es mayor que para las grandes.

Además, es importante destacar que ha habido una evolución hacia una reducción de la dotación de las plantas debido principalmente a cambios tecnológicos y mejoras operacionales.

En algunos estudios expuestos en este capítulo se mencionó que originalmente, la dotación estimada para plantas pequeñas y medianas era de alrededor de 1,5 personas por MW (e) generado, cifra que fue disminuyendo hasta los nuevos diseños de este tipo de plantas que consideran aproximadamente 0,7 personas por MW (e) (para unidades singles). Lo anterior implica que las dotaciones totales de este tipo de plantas han ido disminuyendo de 500 personas a menos de 400 sin afectar el grado de seguridad y de eficiencia en la operación.

Otros estudios muestran que además del número de unidades que considera la planta, existen otros factores que impactan en el diseño de la dotación de una planta (mencionado en la segunda sección de esta parte).

Por último es importante destacar que hasta el momento no existe evidencia que indique que hay una diferencia significativa de dotación entre las plantas operadas por el sector privado y el sector público.

8.5 Referencias

- Ibanez, M. 2001. “Staff Size Evolution at the Spanish Nuclear Power Plants.” In “Staffing requirements for future small and medium reactors (SMRs) based on operating experience and projections.” IAEA – TECDOC-1193. (IAEA 2001)
- International Atomic Energy Agency (IAEA) 2007. “Considerations to Launch a Nuclear Power Programme”. IAEA Publication 07/11471 .http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloads/Launch_NPP/07-11471_Launch_NPP.pdf
- International Atomic Energy Agency (IAEA) 2001. “Staffing requirements for future small and medium reactors (SMRs) based on operating experience and projections” IAEA – TECDOC-1193. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1193_prn.pdf
- International Atomic Energy Agency (IAEA) 1998. “NUCLEAR POWER PLANT ORGANIZATION AND STAFFING FOR IMPROVED PERFORMANCE: LESSONS LEARNED.” IAEA-TECDOC-1052. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1052_prn.pdf
- McQuade, D. 2001. “Staffing Requirements For Future Small & Medium Reactors” In “Staffing requirements for future small and medium reactors (SMRs) based on operating experience and projections.” IAEA – TECDOC-1193. (IAEA 2001)

9 MODELOS ALTERNATIVOS DE PARTICIPACION PÚBLICA – PRIVADA EN UN PROGRAMA NUCLEAR DE POTENCIA

En este capítulo se describen los modelos alternativos considerados para el desarrollo de un programa nuclear de potencia, los cuales varían básicamente en la forma como participan el Estado y el sector privado en la propiedad y la operación de las instalaciones nucleares. En lo que respecta a las funciones normativas y regulatorias, en todos los modelos se ha considerado que ellas son ejercidas por el Estado, tal como se observa en la totalidad de los países que tienen programas nucleares de potencia.

9.1 Funciones normativas y regulatorias

9.1.1 Agencia reguladora nuclear

Esta organización es la encargada de establecer las normas y estándares relativos a la utilización de la energía nuclear en todas sus formas. Estas normas y estándares deben estar de acuerdo a las recomendadas a nivel internacional por la IAEA y organizaciones afines a tales actividades. Por su carácter técnico, esta agencia debe contar con un alto grado de independencia respecto de la autoridad política, privilegiando su vinculación con el ejecutivo a través de ministerios abocados a tareas técnico-económicas, como por ejemplo, el Ministerio de Economía, o la Comisión Nacional de Energía.

Teniendo en consideración que muchos estándares y normas se refieren a los efectos de las radiaciones sobre las personas, esta organización debiera también tener una cercana relación con el Ministerio de Salud. Por el lado de las emisiones al ambiente de materiales radiactivos, deberá coordinar además la definición de estándares, normas y reglamentos con la Comisión Nacional del Medioambiente (CONAMA). En la actualidad en Chile estas funciones las cumple el Departamento de Seguridad Nuclear y Radiológica de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN.

La CCHEN hoy día integra funciones reguladoras, fiscalizadoras, de operación de facilidades nucleares y de promoción y desarrollo tecnológico en el ámbito

nuclear. Es evidente que esta organización concentra funciones que implican insalvables conflictos de interés y, por tanto, debiera haber una reestructuración institucional antes de poner en marcha un programa nuclear de potencia. Las funciones reguladoras y fiscalizadoras deberían ser asumidas por entes distintos de aquellos encargados de las funciones de promoción, desarrollo y operación de la energía nuclear. Las funciones de regulación y fiscalización tendrían un escalamiento significativo en términos de volumen y nivel técnico de su actividad

El personal técnico requerido en la agencia reguladora debería alcanzar cerca de sesenta personas al iniciarse la operación de las centrales de potencia; para llegar a una condición de estado estacionario del orden de ochenta profesionales, al cabo de unos diez años de entrada en operaciones la primera central generadora nuclear.

El grado de autonomía que cada país otorga a esta organización es una decisión política. En casos como el de Corea del Sur, la agencia reguladora nuclear depende directamente del Primer Ministro, situándola al más alto nivel gubernamental. En Estados Unidos, los miembros del directorio de la NRC son designados directamente por el Presidente, quién además elige al Director de la misma agencia. En España las responsabilidades de otorgamiento de licencias recaen en el Ministerio de Economía, mientras que en Francia la agencia reguladora reporta a tres ministerios: Industria, Salud, y Ecología. No existe por lo tanto dentro de los casos estudiados, un criterio universalmente aceptado de cuál debe ser el nivel político administrativo que la agencia reguladora deba tener, pero ésta se encuentra ya sea a nivel ministerial o un nivel bajo el ministerial. No se encontró casos que la agencia tenga un nivel inferior a los indicados.

9.1.2 Agencia fiscalizadora nuclear

Esta organización debiera ser la encargada de otorgar las licencias de operación de instalaciones nucleares, especificar en tales licencias las actividades permitidas y aquellas no autorizadas, verificar el cumplimiento de las normas y estándares en la operación de las instalaciones licenciadas y suspender o caducar las licencias, en situaciones que así lo ameriten. Esta organización debe tener a

su disposición laboratorios de medición y análisis para la expedición de los certificados legales relativos a las mediciones de niveles de radiactividad y seguridad que las organizaciones licenciadas deban demostrar. Actualmente estas funciones las cumple el Departamento de Seguridad Nuclear y Radiológica (DSNR) de la CCHEN.

De establecerse un programa nuclear de potencia en el país, sería conveniente que la agencia fiscalizadora no siguiera dependiendo de la CCHEN, de modo que las operaciones que esta Comisión desempeña como operador de instalaciones nucleares también sean sometidas a la inspección y evaluación en la ejecución de sus actividades nucleares de parte de una agencia independiente. En este contexto, la CCHEN podría constituirse como un instituto tecnológico, entre cuyas funciones cabría la operación de las instalaciones nucleares que actualmente posee.

Tal como en el caso de la agencia reguladora, el nivel de actividad de la nueva entidad fiscalizadora debería aumentar en forma importante al momento de puesta en marcha de un programa de centrales nucleares de potencia. En particular, es usual en otros países (como en los Estados Unidos) que en cada sitio de importancia que lleva a cabo actividades relacionadas con la energía nuclear, exista una oficina representante, dotada en ocasiones con más de un inspector de dedicación exclusiva en el sitio.

Un aspecto importante a tener en cuenta es la dificultad de tener que licenciar el diseño de cada tipo de central nuclear en forma específica, ya que agrega un nivel de trabajo significativo a la agencia fiscalizadora y aumenta significativamente los costos del proceso. Por lo tanto, podría ser conveniente la adopción de la práctica de aceptar en forma preliminar e inmediata aquellos diseños estandarizados que ya hayan sido licenciados en otros países donde la industria nuclear es de primer nivel mundial. De esta forma no sería necesario tener que repetir los estudios de diseño para otorgar la licencia de construcción, lo que abarataría los costos y simplificaría en gran medida el esfuerzo de licenciar el diseño de reactores.

En un estado de régimen de operación estacionario, con unas cinco centrales generadoras nucleares en servicio, se estima que esta agencia fiscalizadora debiera contar con una dotación de aproximadamente cuarenta a cincuenta profesionales en las oficinas centrales, más una dotación de dos profesionales inspectores por central generadora.

En aquellos casos en que la agencia fiscalizadora se encuentra separada de la agencia reguladora, la primera puede depender del Ministerio de Industria (Reino Unido), del Ministerio de Ciencia y Tecnología (Corea del Sur), o del Ministerio de Salud (Francia). Por tratarse de una organización técnica sin responsabilidades políticas ni administrativas superiores, se sitúa normalmente un nivel por debajo el nivel ministerial, debiendo coordinar su actuar con los otros ministerios, en particular los del Medioambiente, Salud, Industria, etc.

Teniendo en cuenta la experiencia de Canadá y los Estados Unidos, se recomienda que las actividades regulatorias y normativas mencionadas en la sección anterior, como las actividades fiscalizadoras mencionadas en esta sección se hagan responsabilidad de una sola entidad de mayor tamaño, en divisiones separadas.

9.1.3 Entidad encargada del almacenamiento y gestión de desechos nucleares de larga vida media y alta actividad

Una entidad del Estado debe hacerse cargo de la recepción, manejo, acondicionamiento, almacenamiento y custodia de los desechos nucleares y otros materiales radiactivos de larga vida media y alta actividad, y del depósito geológico permanente de tales desechos radiactivos, con el fin último de proteger a la población y el medioambiente de los efectos de los desechos radiactivos de los cuales se haga responsable. Por tratarse de una entidad operativa, puede configurarse como un instituto o empresa autónoma del Estado y vincularse a la Corporación de Fomento o un ministerio de carácter técnico, por ejemplo la Comisión Nacional de Energía o el Ministerio de Minería. Alternativamente esta función puede asignarse a la CCHEN, en la medida que ésta deje de desempeñar

funciones regulatorias y fiscalizadoras. En Chile, actualmente estas tareas las lleva a cabo el Departamento Protección Radiológica y Ambiental de la CCHEN.

La creación del repositorio geológico será necesaria en el largo plazo, sea cual sea el modelo de desarrollo que se lleve a cabo. El costo de construcción del repositorio geológico para un programa que en condición de estado estacionario serviría para los desechos nucleares de 10 reactores de potencia se estima del orden de los US$600 millones. El repositorio permanente podría ser propiedad del Estado, pero su operación se podría concesionar a una empresa privada, sometida a inspecciones permanentes de la agencia fiscalizadora.

En Estados Unidos la responsabilidad por el manejo de los desechos radiactivos de alto nivel depende del Departamento (Ministerio) de Energía, que ha asumido la responsabilidad por el desarrollo y construcción del repositorio geológico de alta profundidad. Asimismo, a nivel de cada Estado dentro de los Estados Unidos se ha asumido la responsabilidad por el manejo de desechos de media y baja actividad. En Finlandia se ha establecido por ley la construcción de un repositorio geológico de responsabilidad del Estado, lo mismo en el caso de Francia. En el Reino Unido se está trabajando para establecer un repositorio geológico de responsabilidad del Estado, pero que pueda ser administrado por una empresa privada. De acuerdo a los casos estudiados, la tarea de desarrollar, financiar y construir el repositorio geológico para los residuos nucleares de alta actividad y larga vida media recaería en el Estado, pese a lo cual la instalación misma podría ser gestionada por entidades privadas sujetas a una estricta fiscalización gubernamental.

9.1.4 Organización encargada del almacenamiento y gestión de desechos nucleares de vida media intermedia y media actividad

El manejo, acondicionamiento y almacenamiento temporal de los desechos de media actividad y vida media intermedia debe ser responsabilidad de los operadores que los generen, sujetos a la fiscalización de las agencias responsables ya mencionadas. Una vez que el programa nuclear se encuentre en estado estacionario, con cerca de diez centrales de potencia, y que la cantidad de

desechos nucleares intermedios llegue a volúmenes importantes, será necesario que el Estado construya un repositorio intermedio nacional para estos propósitos, como por ejemplo el depósito de El Cabril en España, que es administrado por una empresa estatal.

En Canadá, donde a la fecha no se ha construido un repositorio geológico, existe un centro de almacenamiento intermedio de combustible nuclear agotado, de responsabilidad de la administración central de la provincia de Ontario. En España el Centro El Cabril es el responsable del almacenamiento de residuos nucleares de baja y media actividad, instalación que es administrada por la empresa estatal Enresa[2]. En el Reino Unido, en la instalación nuclear de Sellafield de responsabilidad estatal, se almacenan residuos de baja y media actividad, cuya capacidad ya se encuentra cercana a estar copada. En la República Checa, que tiene una corta vida de su programa nuclear de potencia, no existe un centro de almacenamiento intermedio. Para efectos de comparación, en Estados Unidos, los desechos de alta actividad derivados de los programas de defensa y del reprocesamiento de combustible agotado se almacenan en cada sitio, no existiendo por el momento centros estatales de almacenamiento de tales residuos nucleares. El motivo principal para el establecimiento de centros de almacenamiento intermedio de desechos nucleares, es la capacidad copada de almacenamiento en las respectivas plantas y centros de investigación para almacenar sus propios desechos, lo que ha hecho recomendable el establecimiento de instalaciones de almacenamiento temporal administradas por entidades fiscales. Por lo tanto, este tipo de instalaciones se hacen necesarias cuando ya han transcurrido muchos años de operaciones del sistema de generación nuclear. Otra alternativa a estos centros de acopio intermedio sería que en las respectivas centrales nucleares y centros de investigación nuclear, se exija la instalación de la capacidad de almacenamiento de desechos para que dure toda la vida operativa de la instalación.

[2] ENRESA fue creada en 1984 como una Sociedad Anónima. El año 2005 fue convertida por ley en empresa estatal de servicio público.

9.1.5 Legislación nuclear

Antes de dar comienzo a la implementación de un programa nuclear de potencia, el Gobierno debe estudiar y proponer al Congreso uno o más proyectos de ley que contengan un conjunto de medidas que regulen y normen la creación y funcionamiento de organizaciones que manejen material radiactivo, la instalación de centrales de potencia para generar electricidad y el funcionamiento de las empresas propietarias de las mismas y de las empresas proveedoras de servicios para la industria nuclear. Las leyes que deben ser promulgadas deben abarcar los siguientes aspectos:

- El desarrollo y uso seguro de la energía nuclear;
- El establecimiento de la organizaciones regulatoria y fiscalizadora indicadas precedentemente;
- Las condiciones y restricciones para el licenciamiento de sitios para la operación de centrales nucleares e instalaciones anexas, que resguarden la seguridad y la salud de los trabajadores y del público en general, como también la protección del medioambiente;
- El establecimiento de los principios y reglas acerca de la responsabilidad civil y los seguros relacionados con los accidentes nucleares (Ley o Acta de Responsabilidad Nuclear; *Nuclear Liability Act*) que existen en todos los países con energía nuclear de potencia, donde el gobierno central indemniza a los propietarios de plantas generadoras en caso de siniestros que superen una cierta suma, por ejemplo 50 a 60 millones de dólares. Ello, dado que la necesidad de otorgar viabilidad financiara a los proyectos requiere acotar las contingencias económicas en caso de un desastre.
- La protección radiológica, la seguridad nuclear, la protección ambiental, el transporte de materiales radiactivos y la gestión de desechos nucleares, bajo la orientación de organismos internacionales (IAEA, CIPR – Comisión Internacional de Protección Radiológica)
- El establecimiento de un sistema de contabilidad de materiales nucleares, con el propósito de dar cumplimiento a los convenios y salvaguardias internacionales a los cuales Chile ha adherido.

Varias de estas iniciativas legales podrían ser formuladas a partir de la legislación nacional actualmente vigente que versa sobre tales materias, y también a partir de legislación en vigencia en países de habla hispana como España, México o Argentina. Asimismo, la IAEA tiene propuestas para cada una de éstas iniciativas legales que se pueden adaptar a las condiciones legales y políticas de cada uno de los Estados que deseen implementarlas.

En todos los casos de países estudiados esta legislación se encuentra ya aprobada y establecida. Las principales diferencias provienen de países que son poseedores de armas atómicas (EE.UU., RU, Francia) de aquellos que no lo son. Los primeros requieren de una normativa mucho más rigurosa y extensa, que abarca la totalidad de las actividades y contingencias esperables del manejo de desechos nucleares de muy alta actividad, de materiales nucleares que podrían ser empleados con fines bélicos, y del resguardo de las instalaciones donde estas actividades se llevan a cabo. Países como Canadá, España, Suecia y Suiza, que tienen muchos años de evolución en la aplicación de energía nuclear con fines pacíficos, han ido incorporando leyes y normativa en la medida que sus necesidades se lo han hecho recomendable o necesario, que al cabo de muchos años ha resultado en conjunto extenso y completo de leyes y reglamentos que abarcan la totalidad de las actividades del uso de la energía nuclear con fines pacíficos. Países que han tenido una incorporación más tardía de la energía nuclear de potencia tales como Finlandia, Corea del Sur y la República Checa, tienden a tener una legislación nuclear un tanto más incompleta, que se basa principalmente en las recomendaciones que hace la OIEA al respecto. Para el caso de Chile, por motivos de similitud cultural y legal, en caso de decidirse la construcción de centrales nucleares de potencia, sería altamente beneficioso el estudio de las leyes de España en relación a la energía nuclear, para que sean modificadas de acuerdo a la realidad nacional.

9.2 Modelo alternativos de desarrollo de la energía nuclear

Una premisa básica en los modelos que se presentarán a continuación es que, dado el desarrollo nuclear mínimo existente en Chile a la fecha y que muy

posiblemente no cambie sustantivamente en el mediano plazo, las centrales de potencia que se vayan a construir en el país serán adquiridas bajo la modalidad de "llave en mano". Esta realidad es aplicable incluso a países de desarrollo tecnológico significativo como Suiza y Finlandia, por lo cual debiera ser considerado como una premisa real de planificación. Por lo tanto, desde la perspectiva nacional, inicialmente se deberá actuar como contraparte calificada y capacitada en materias nucleares, frente a proveedores extranjeros de una industria nuclear concentrada y de mucha experiencia.

En relación al suministro de combustible nuclear, es dable esperar que tal vez en un plazo del orden de quince años desde la construcción de la primera central nuclear de potencia en Chile, la industria privada nacional podría estar en condiciones de cooperar en el suministro de combustible nuclear para centrales de potencia. Países como España, recién después de muchos años desde que se construyó su primera central nuclear se involucraron en la fabricación de combustible nuclear. En el caso de la República Checa, a la fecha todo el combustible nuclear requerido por sus centrales es adquirido a otros países.

De lo anterior se desprende que los recursos humanos con los que es necesario contar en el país para encarar un programa nuclear de potencia deberán tener una adecuada preparación en la evaluación de proyectos nucleares, la elaboración y negociación de contratos para la industria nuclear, la supervisión de la gestión de proyectos de construcción de instalaciones nucleares, inspecciones y pruebas de centrales, legislación nuclear, el licenciamiento de instalaciones y la operación de centrales. De acuerdo con esto, sea cual sea el modelo de desarrollo que se vaya a adoptar, el énfasis en la calificación de los recursos humanos debe centrarse en ingeniería nuclear, la operación de centrales, la protección radiológica y la gestión de desechos nucleares, mientras se debe otorgar un énfasis mucho menor a la calificación de especialistas en física nuclear.

Dichos recursos humanos constituyen un requisito previo para dar inicio a un programa de desarrollo núcleo-eléctrico y, en consecuencia, su preparación debe iniciarse con suficiente antelación. Se debe tener en cuenta que la actual falta de

personal calificado en materias nucleares en Chile se debe a la ausencia de expectativas laborales en el tema, por lo que un plan de capacitación debe ir asociado a un plan de desarrollo laboral posterior. En tal sentido, el Gobierno debería proveer financiamiento para capacitar un número significativo de ingenieros en materias nucleares, del orden de cincuenta, para participar en las diversas iniciativas asociadas a la puesta en marcha de un programa nuclear, los cuales se podrán integrar después a las entidades regulatoria y fiscalizadora o a la empresa que instale las centrales. También sería posible atraer especialistas del extranjero, pero dado el auge a nivel de países desarrollados que ha tenido en los últimos años la industria nuclear (ver casos de EE.UU., RU, Canadá, Corea del Sur) se estima que esta última opción tendría un bajo grado de efectividad.

Otro de los supuestos es que la adquisición de combustible nuclear en su forma física definitiva para ser empleado en el interior de un reactor (i.e. elementos combustibles elaborados) no está condicionada de modo alguno por la existencia o no existencia en territorio nacional de minerales de uranio y su explotación. Con la excepción de una sola mina en la República Checa, en Europa no existe ninguna otra mina de uranio en explotación, por lo tanto, todo el resto de los países analizados (excepto Canadá) debe importar uranio ya sea desde Canadá, Australia o Kazajstán. De esta forma, si no se llegara a encontrar mineral de uranio en Chile comercialmente explotable, esto no debiera ser impedimento para que un programa de centrales de potencia se implemente. Se asumirá entonces que la adquisición de elementos combustibles para los posibles reactores que se instalen se hará en el mercado internacional, irrespectivo de si en Chile existen o no minas que comercialmente exploten uranio en forma permanente.

9.2.1 Modelo de propiedad del Estado en su totalidad

Este modelo de desarrollo núcleo-eléctrico considera que un organismo estatal financia y realiza la totalidad de las inversiones para las centrales nucleares de potencia e infraestructura adicional necesaria, y posteriormente se hace cargo de la operación de dichas centrales.

En la mayoría de los países analizados, los programas nucleares de potencia nacieron bajo este modelo, pues el Estado financió los estudios, construcción, operación, explotación, y decomisionamiento de las primeras centrales nucleares. Algunos, como es el caso de Francia a través de la empresa Electricité de France, todavía mantienen la propiedad estatal de las centrales de potencia, si bien EDF se administra con criterios comerciales y gran autonomía, como si fuera una empresa privada. Otro caso es el del Reino Unido, el cual, a contar de los años noventa, privatizó aquellas centrales nucleares que tenían interés económico para los privados, debiendo mantener bajo su administración los reactores Magnox, que por su edad y condiciones materiales y de operación, los hacían muy riesgosos para los inversionistas privados. Argentina y México mantienen a la fecha la propiedad y la administración de sus centrales nucleares bajo el control de empresas del Estado. En Suiza y Canadá, algunas centrales nucleares son propiedad ya sea del Cantón o de la Provincia respectiva, las cuales son traspasadas a privados para ser administradas en forma independiente.

Una de las posibles ventajas económicas de un modelo de propiedad estatal de desarrollo nuclear, es un acceso más fácil a fuentes de financiamiento, con tasas de interés de endeudamiento más bajas para la construcción de las centrales que las correspondientes para una empresa o consorcio privado. Ello en vista del elevado riesgo político y financiero de este tipo de inversiones, en particular en un país que no tiene experiencia nuclear, y el menor riesgo de no pago ("default") que normalmente se asocia a los Estados y sus empresas. Cabe recordar que las inversiones en una central nuclear de 1000 MW superan los dos mil millones de dólares.

Esta ventaja contribuye a explicar porque en el pasado, en un contexto de mercados financieros poco desarrollados, los programas núcleo-eléctricos en muchos países fueron impulsados por empresas estatales[3]. El acceso más fácil de estas empresas al financiamiento -respaldadas por garantías explícitas o

[3] Otra razón es que en muchos países los programas núcleo-eléctricos eran concebidos como iniciativas estratégicas, estrechamente vinculados a las políticas de defensa nacional.

implícitas del Estado- daría mayor certeza de que una vez lanzado un programa éste llegue finalmente a concretarse, a pesar de los sobrecostos u otros riesgos que podrían verificarse durante la fase de construcción. Cabe señalar, sin embargo, que la participación de una empresa estatal tampoco asegura que los proyectos se concreten, como lo atestigua el caso la central de Atucha 2 en Argentina, la cual lleva veintiún años en proceso de construcción, ya sea por falta de fondos estatales o cambios en las prioridades del los sucesivos Gobiernos.

Otro beneficio hipotético de la propiedad estatal es que, al no tener fines de lucro, las tarifas de la electricidad cobradas a la población serían más bajas que las tarifas que cobraría una empresa privada de núcleo-electricidad. Sin embargo, este beneficio no es tal, no sólo porque la tendencia es que las empresas estatales actúen como empresas comerciales, sino también porque menores tarifas requerirían subsidios fiscales, los que también podrían otorgarse a empresas privadas. En el caso chileno, las empresas estatales operan con criterios comerciales y la regulación tarifaria no hace distingo según el régimen de propiedad de las empresas y los subsidios sólo se otorgan en función de criterios de pobreza de la población.

Un tercer beneficio posible de un programa nuclear con propiedad del Estado es la mayor aceptación pública que un programa nuclear podría tener, particularmente al momento de su puesta en marcha. En la población existen muchos temores relacionados con la energía nuclear, los cuales no siempre las empresas privadas son capaces de aminorar, aunque exista un marco regulatorio adecuado para el sector. En países donde las instituciones fiscales tienen elevada credibilidad pública, un programa nuclear estatal puede otorgar a la ciudadanía un mayor grado de confianza sobre la seguridad de las centrales y estándares de operación, con criterios que no escatimen en gastos para asegurar la protección de la población.

Sin embargo, si las organizaciones estatales no cuentan con elevada credibilidad por parte de la población, el hecho de que las centrales nucleares sean de propiedad del Estado puede causar también suspicacias y recelos, y

cuestionar todo lo que se haga en el ámbito nuclear. Un caso patente en este sentido es México, país en donde una parte importante de la población considera que la central nuclear de Laguna Verde, de propiedad del Estado, opera con malos estándares de seguridad y sostiene que el Gobierno debiera cesar su operación, por ser un riesgo para la población. Aunque estos alegatos y quejas nunca han podido ser efectivamente comprobados, ellos han dificultado o incluso impedido que ese país se embarque en la instalación de nuevos reactores de potencia. En todo caso, el grado de aceptación de la propiedad pública o privada de las centrales nucleares puede ser determinado a partir de encuestas, las que en Chile a la fecha no se ha llevado a cabo y podrían implementarse en el corto plazo.

Una cuarta ventaja posible de un programa estatal de centrales de potencia es de índole tecnológica y tiene que ver con la tendencia de los monopolios estatales de adoptar reactores estandarizados, lo cual abarata los costos y con el tiempo tiende a mejorar la seguridad de las instalaciones. Este es el caso de Francia, que en los últimos treinta años ha lanzado generaciones sucesivas de reactores estandarizados, cada una mejorando aspectos sustanciales de la generación anterior. Algo similar se puede decir de los reactores CANDU en Canadá, aunque en ese país también se han adoptado tecnologías alternativas.

El caso opuesto es donde cada empresa generadora es libre de elegir a los proveedores del reactor, de los componentes principales y de la instalación de vapor. Es así como Estados Unidos ha demostrado serias dificultades para mejorar la eficiencia de las centrales y su seguridad, ya que cada planta es diferente a la otra, incluso dentro de un mismo sitio y perteneciendo a la misma empresa de generación. Bajo tales condiciones el aprendizaje de los operadores, mantenedores, proveedores de equipos principales y agentes reguladores se ve dificultado, lo que puede resentir la seguridad operativa de las instalaciones. Cabe señalar, en todo caso, que la adopción de una estrategia de reactores estandarizados no es algo intrínseco a las empresas estatales, y está fuertemente influenciado por políticas de licenciamiento e incentivos aplicadas por los

gobiernos. Asimismo, los grandes proveedores de reactores nucleares avanzan hacia la estandarización, debido a la mayor facilidad de obtener licencias y las ventajas en la construcción de las centrales. Es así como los cambios tecnológicos se están produciendo en la forma de saltos cuánticos ("quantum steps") seguidos de la consolidación de una generación de reactores.

En cuanto a los inconvenientes que podría presentar el modelo descrito, uno de los más relevantes es la probable menor eficiencia operativa de una empresa estatal, que se originan en la falta de alineación entre los objetivos del Estado como propietario y como controlador o gestor de una empresa (problemas de agencia). Es así como, al estar condicionada por criterios políticos, la empresa podría incurrir en gastos innecesarios o en una sobre dotación de trabajadores, lo que haría aumentar sus costos de explotación. Asimismo, rigideces burocráticas podrían dificultar la contratación y el despido de trabajadores, lo cual atenta contra la eficiencia y efectividad operativa de esas empresas. También se podrían facilitar acciones rentísticas ("rent-seeking behavior") de parte de los proveedores potenciales, con el riesgo asociado de corrupción.

En todo caso, una alternativa a considerar para mejorar la eficiencia organizacional de una empresa de propiedad estatal es contratar a una empresa privada para que se haga cargo de administrar las operaciones. Por ejemplo, este modelo de propiedad y administración mixta se emplea en Canadá para la operación de la central Bruce Power. Este modelo puede ir acompañado de una participación minoritaria del operador privado en la empresa, según se discutirá más adelante.

Otro inconveniente del modelo de propiedad estatal de las instalaciones nucleares es que, por ser también estatales los organismos reguladores y fiscalizadores, se podrían producir conflictos de intereses entre instituciones del Estado, especialmente si todas las instituciones del sector tienen bajos niveles de autonomía respecto del Gobierno. Este se constituiría en juez y parte, resintiéndose el buen funcionamiento de las funciones reguladoras y fiscalizadoras y el desempeño del sector núcleo-eléctrico. Además, en un modelo en el cual el

Estado es propietario de las centrales nucleares de potencia, éste se tendría que involucrar también en la adquisición del combustible nuclear y en la gestión del combustible "quemado" originado en el interior del reactor, lo cual nuevamente podrían producir conflictos de interés entre el operador y los entes reguladores.

Un tercer inconveniente asociado al desarrollo de un programa nuclear por una empresa estatal es la desconfianza de las potencias mundiales, por ejemplo de Estados Unidos. En efecto, debido a la posible diversión de materiales nucleares en forma subrepticia a programas de defensa, actividad que podría facilitarse en una empresa estatal, las potencias tienden a preferir y favorecer programas civiles, idealmente con participación privada, sobre los cuales se puede tener un control mucho más estricto. Esta preocupación se acentúa si las centrales elegidas son de tipo CANDU (o PHWR en forma genérica), pues ellas generan cantidades importantes de plutonio durante su operación. En nuestro caso, sin embargo, esta preocupación es menor por el hecho de que Chile es parte del TNP y todas sus instalaciones y actividades nucleares se encuentran sometidas a salvaguardias de la IAEA.

Las ventajas o desventajas de impulsar un programa nuclear de potencia con empresas estatales dependen no sólo de los contextos nacionales, sino también de las fases en que se encuentre dicho programa. Así se explica por qué en algunos países se ha verificado un traspaso de propiedad de las centrales nucleares a inversionistas privados, una vez que se ha logrado establecer las bases regulatorias y operativas del mismo. La propiedad inicial del Estado puede suplir la falta de interés de inversionistas privados, especialmente si no se ha establecido un marco regulatorio que incentive dicha participación y reduzca los riesgos políticos a la que está sometida la actividad núcleo-eléctrica. Pero una vez establecido dicho marco, la privatización se hace factible, como asimismo la mayor eficiencia que las empresas privadas suelen brindar. Casos de privatización de las centrales nucleares son los del Reino Unido, la República Checa y Suecia. Con todo, los procesos de privatización pueden ser políticamente complejos, pudiendo facilitarse si desde el principio se cuenta con alguna participación privada.

En definitiva, el modelo de propiedad estatal total puede ser conveniente para iniciar programas en países donde el elevado riesgo económico, técnico, social y político hace que el interés de los privados por invertir en la construcción de centrales de potencia sea muy bajo o incluso nulo. En este caso, una decisión política firme y sostenida en el tiempo de llevar adelante un programa nuclear de potencia, puede asegurar que las inversiones efectivamente se materializarán y eventualmente dar confianza a la ciudadanía en el sentido de que se adoptarán los resguardos para proteger a trabajadores, al público en general y el medioambiente.

9.2.2 Modelo de propiedad privada en su totalidad

Este es un modelo en que el Estado no se involucra en la materialización de inversiones en centrales nucleares de potencia y deja que los agentes privados resuelvan, en el marco de las normas existentes, si dichas inversiones se realizan o no, en qué momento y con qué tecnología. En el caso chileno, ello podría operar de manera similar a cómo se efectúan hoy las inversiones en generación, salvo que las empresas deberían sujetarse adicionalmente al marco normativo e institucional, que fue descrito en la Sección 9.1.

Conceptualmente el modelo es consistente, pues los agentes privados optarían por la tecnología nuclear en la medida que ella resultara más competitiva que las otras alternativas de generación y asumirían el riesgo asociado a su decisión. Los incentivos económicos permitirían a la sociedad captar los beneficios de la inversión privada, en particular, una mayor eficiencia operativa y una menor probabilidad de que las decisiones de inversión y elección de tecnología estén supeditadas a objetivos políticos. Adicionalmente, el modelo privado tiene la ventaja de ser consistente con la actual estructura del sector eléctrico chileno, que actualmente esta privatizado en sus totalidad y donde operan empresas internacionales que tienen experiencia nuclear en otros países. En cambio, actualmente el Estado chileno no tiene experiencia en la gestión de empresas eléctricas.

El único caso de los estudiados en el cual la propiedad de las centrales nucleares es totalmente privada es el de Estados Unidos[4]. En este sentido el caso de España es interesante, ya que comenzó siendo totalmente privado en su primera fase y posteriormente migró hacia un modelo mixto, en el cual algunas centrales continuaron siendo privadas, pero que incorporó centrales de propiedad estatal mediante la construcción de las mismas por parte de ENDESA España. En el Reino Unido se intentó la total privatización del parque nuclear, pero debió mantenerse la propiedad de las centrales Magnox en manos del Estado, ya que los inversionistas privados no estuvieron dispuestos a correr el riesgo de su operación por lo anticuado de su diseño, y por encontrarse muy próximas al término de su vida operativa.

En la práctica, sin embargo, es difícil que el modelo de propiedad totalmente privado posibilite el desarrollo de un programa de energía nuclear de potencia, salvo que el Estado otorgue diversas garantías que actualmente no existen en el sector eléctrico chileno. La razón es que los altos riesgos políticos, económicos y tecnológicos asociados al inicio de un programa nuclear en un país que no tiene experiencia en la materia, obstaculizarían la obtención del capital requerido para desarrollar la industria y el inicio de dicho programa. Dichos riesgos se acrecientan por la dificultad de coordinar mediante mecanismos de mercado y regulatorios ("fallas de coordinación") todas las acciones necesarias para poner en marcha un programa núcleo-eléctrico totalmente privado.

Al no contar Chile con experiencia previa de licenciamiento de centrales nucleares de potencia, el proceso de licenciamiento de la primera central totalmente privada podría ser muy largo y complejo, especialmente si no existe un amplio consenso político y social sobre la necesidad de la energía nuclear. Los inversionistas privados probablemente exigirían algún tipo de garantías financieras o subsidios, como las que actualmente se ofrecen en Estados Unidos o en algunas obras públicas realizadas en Chile al amparo de la Ley de Concesiones.

[4] Pese a ello, la agencia federal para el desarrollo del Valle de Tennessee (TVA) es propietaria de centrales nucleares de potencia, lo cual hace que el modelo de los EE.UU. no sea totalmente privado.

La propiedad privada de las centrales nucleares permitiría aliviar una de las desventajas de la propiedad estatal, como es el potencial conflicto de intereses entre reguladores y operadores dependientes de una misma autoridad pública. Por otra parte, sin embargo, la propiedad privada podría también acentuar una relación de antagonismo entre estos actores, al punto de desincentivar la iniciativa privada en el sector.

Así, por ejemplo, la autoridad estatal, nacional o local, podría imponer impedimentos y restricciones a la construcción de centrales nucleares, al manejo de desechos radiactivos y a la operación de dichas centrales, lo cual podría afectar seriamente la continuidad del programa y su viabilidad comercial.

Otro de los inconvenientes potenciales de un programa nuclear totalmente privado es la diversidad de tecnologías nucleares que se podrían utilizar, ya que cada empresa tendría la libertad de escoger distintos tipos de centrales. Un ejemplo de esta política de libre elección y su impacto negativo en la diversidad de tecnologías y proveedores lo constituyen España y los Estados Unidos. Los problemas regulatorios y operativos de esta política de libertad total de elección de tecnología nuclear por parte de los inversionistas, podrían significar mayores costos de licenciamiento y regulación, y menores eficiencias operativas de las centrales, por no ser posible la plena transferencia de experiencias, personal y equipos entre centrales de distintas características. Estos inconvenientes, sin embargo, se pueden evitar mediante una adecuada política de licenciamiento de centrales.

A nivel internacional, probablemente sería aceptable que Chile adopte un programa nuclear totalmente privado, ya que las posibilidades de desviar material nuclear para un programa de defensa son reducidos, pues la operación de las empresas estarían sometidas a la vigilancia estatal e internacional. Además, la posibilidad de sanciones debido al incumplimiento de normas y estándares de operación se minimiza, en la medida que exista una fiscalización adecuada.

En cuanto a la aceptación del público, la propiedad privada puede tener ventajas y desventajas. Por una parte, ella puede acrecentar los temores de la

población, en la medida que se considere que la fiscalización estatal es deficiente y el objetivo de rentabilidad privada debilite el gasto en medidas de seguridad. Por otra parte, la operación de actores privados puede dar más garantías, en la medida que esté bien regulada, porque estaría menos afectada por criterios políticos y acciones rentísticas; sin embargo es posible que esta ventaja de la propiedad privada no sea percibida plenamente por la opinión pública.

En definitiva, el modelo de propiedad y operación privada de las plantas nucleares tiene diversas ventajas conceptuales, en particular el hecho que es consistente con el modelo que actualmente impera en el sector eléctrico chileno. Sin embargo, iniciar el desarrollo nuclear en Chile tiene elevados riesgos, los que pueden hacer inviable o demasiado oneroso un programa totalmente privado. En tal contexto puede tener sentido que el Estado participe brindando garantías políticas y financieras o, incluso, mediante alguna participación en la propiedad y el financiamiento de las centrales. Ello podría brindar una señal de compromiso con el proyecto nuclear que facilitase la obtención de financiamiento, limite los problemas de coordinación y reduzca el riesgo político de concretar el proyecto.

Cabe destacar que dentro de los casos estudiados existirían sólo dos casos (EE.UU. y España), en los cuales la generación de electricidad mediante centrales nucleares haya comenzado en forma totalmente privada. En general han sido los gobiernos los que han puesto en marcha el proceso y, después de muchos años de operación bajo administración estatal, han tomado la decisión de privatizar parcialmente o totalmente las centrales nucleares de potencia. Como se ha visto, en algunos países la propiedad total o parcial de las centrales nucleares por parte del estado todavía persiste.

En consecuencia, no es posible a priori descartar la conveniencia que el Estado participe al menos parcialmente en la gestación y financiamiento de proyectos de energía núcleo-eléctrica.

9.2.3 Modelo de propiedad mixta público-privado

Este modelo consiste en el desarrollo inicial de la industria núcleo-eléctrica basado en la inversión y operación de una sociedad mixta en cuya propiedad participa el Estado y el capital privado. La idea básica es que el Estado no sólo cumple las funciones normativas y fiscalizadoras, sino comparte también como inversionista los riesgos financieros asociados al negocio. La explotación misma de las centrales puede recaer en la misma sociedad o asignarse a un operador especializado, el que puede también participar en la propiedad de la empresa.

Dentro de los casos estudiados, Canadá, Reino Unido, Suiza, Corea del Sur, la República Checa, Suecia y España, en todos ellos el Estado continúa manteniendo un cierto grado de propiedad de las centrales nucleares de potencia, ya sea en calidad de socio mayoritario (Suecia, República Checa), minoritario (Corea del Sur, Suiza), o de propiedad estatal y privada separada (Reino Unido, España). En general se evidencia una tendencia a que a futuro el Estado se convierta en socio minoritario.

Este modelo puede contribuir a superar algunas de las dificultades que presentaría un desarrollo exclusivamente privado de la actividad núcleo-eléctrica, en particular el posible desinterés de los agentes privados a invertir e involucrarse en el sector, si es que perciben que los riesgos políticos, económicos y tecnológicos son excesivamente altos. En este caso la participación del Estado podría constituir un estímulo a la participación privada, pues demostraría el compromiso político de desarrollar la industria y compartir los riesgos, como asimismo podría facilitar el acceso al financiamiento de las inversiones en condiciones más convenientes. En tal sentido, garantías financieras o el aval de Estado podrían ser suficientes para asegurar el financiamiento, sin embargo, una participación en la propiedad contribuiría a superar otros obstáculos, tales como los problemas de coordinación público-privada, la aceptación pública o la agilidad requerida en las decisiones regulatorias.

Este modelo también contribuiría a superar algunas dificultades del modelo puramente estatal, en particular los problemas de eficiencia que podrían

presentarse debido a la existencia de criterios políticos y otras trabas a la gestión. Asimismo, la participación privada contribuiría a reducir los requerimientos y riesgos financieros del Estado.

El modelo de sociedad mixta acepta distintas participaciones relativas del Estado y los inversionistas privados en la propiedad, las que también pueden modificarse en el tiempo. Una posibilidad es que el Estado mantenga una participación mayoritaria, lo cual reduciría la necesidad de contar con capital privado. En este caso, sin embargo, sería improbable que inversionistas privados quisieran involucrarse, salvo que pudieran contar con una garantía de que la empresa se va a gestionar de manera eficiente y no habrá interferencias políticas que dañen su rentabilidad. Ello se podría lograr dejando que la operación de la empresa quede en manos del inversionista privado. De esta manera se alinearían los objetivos de operación eficiente y de rentabilidad de los activos de la empresa. Así por ejemplo, el Estado podría llamar a una licitación para adjudicar un contrato de gestión a un operador especializado, exigiendo que este participe en un 35% de la propiedad. Este modelo origina mejores incentivos que uno en que una empresa estatal entrega sólo la operación a un agente privado.

Por otra parte, el Estado puede mantener una participación minoritaria en la propiedad de la empresa, en cuyo caso los inversionistas privados podrían jugar un papel relevante en sus decisiones estratégicas y operativas. En tal caso, la gestión de los proyectos, la adquisición de los sitios, la obtención de las licencias de construcción y operación correrían por parte de la administración de la empresa, la que estaría controlada por inversionistas privados, sin perjuicio que el Estado podría establecer cláusulas que le otorguen poder de veto o requieran su concurso para adoptar determinadas decisiones. La participación privada podría corresponder a un socio inversionista y operador escogido por el Estado o a un conjunto de inversionistas con participación diluida en la propiedad. También es posible que el Estado sea inversionista inicial de la empresa, asumiendo algunas de las tareas preliminares, por ejemplo, la elección del sitio y la elección de

opciones tecnológicas básicas y, posteriormente, se convoque a los inversionistas interesados para que desarrollen las actividades restantes.

La participación en calidad de socio minoritario permitiría al Estado mantener un cierto grado de control en la forma como los proyectos se desarrollan y cómo se administran las centrales y los desechos nucleares, contando con información interna de la empresa, adicional a la información documental obtenida a través de los canales regulatorios formales. Desde un punto de vista práctico, que el Gobierno se involucre parcialmente en la propiedad de las centrales podría significar que los administradores de las instalaciones nucleares se sientan más respaldados y comprendidos por parte de las agencias gubernamentales en casos de dificultades y conflictos de diversa índole.

Desde un punto de vista de la seguridad de las instalaciones, las inspecciones y auditorías a las mismas, el hecho de que el Estado no sea el socio controlador facilitaría que las agencias responsables de la seguridad nuclear lleven a cabo su tarea, pese a lo cual todavía sería posible un cierto grado de conflicto de intereses en la fiscalización de las normas nucleares obligatorias. El Estado en alguna medida sería juez y parte en el proceso inspectivo y de seguridad de las instalaciones, pero con un relativo menor poder que en los casos de propiedad total o mayoritaria de las instalaciones, especialmente si los entes reguladores son independientes.

Por tratarse de una empresa controlada por privados, la administración tendría incentivos para que las tarifas reflejen los costos reales de capital, impuestos y niveles de gastos, preservando un ambiente competitivo en el mercado. Es importante, sin embargo, que el Estado no otorgue ventajas indebidas a dicha empresa, como asimismo, que exista plena transparencia e idealmente un proceso competitivo en la selección de los socios privados de la empresa núcleo-eléctrica, de modo de limitar las posibilidades de corrupción. También debe prevenirse acciones contrarias a la competencia en el mercado eléctrico, especialmente si se permite que alguno de los socios sea una empresa generadora ya establecida.

Otra de las ventajas de este modelo sería una posible posterior privatización total de las instalaciones nucleares, si esto llegara a ser conveniente o necesario a futuro. Sería más simple que el Estado se desprenda de una participación minoritaria en el programa nuclear, que lo haga siendo el propietario mayoritario o único.

Desde una perspectiva internacional, la propiedad mixta debería ser vista en forma positiva por los países miembros del TNP y las potencias nucleares, ya que bajo tal régimen es más difícil que se llegue a divertir material físil para un programa de defensa. Asimismo, que el Estado sea parcialmente propietario de las centrales podría significar que los contratos de largo plazo por el combustible nuclear requerido por las centrales resulten más expeditos, ya que se contaría con el compromiso del Estado en el cumplimiento de tales compromisos.

Desde el punto de la eficiencia operativa, este modelo permitiría obtener la mayor parte de los beneficios que normalmente se asignan a la propiedad privada, pues el control de los inversionistas privados limitaría la posibilidad de que imperen criterios políticos en la operación de las centrales, y en la contratación y despido de personal.

Para el Estado los montos comprometidos serían menores que en el caso de propiedad total de las centrales, lo que aliviaría el financiamiento fiscal necesario para que el proyecto completo se lleve a cabo. Esta situación otorgaría un menor nivel de riesgo para el Gobierno, y posiblemente haría que las iniciativas legales para el establecimiento de una sociedad mixta propietaria de las centrales se tramiten en forma más expedita y con menores grados de conflictividad, en comparación a un programa de propiedad totalmente estatal o totalmente privado.

9.3 Comparación de modelos alternativos de desarrollo de la energía nuclear

A fin de comparar los modelos alternativos de desarrollo núcleo-eléctrico, se efectuó un ejercicio consistente en evaluar su conveniencia desde el punto de vista de diversos criterios de análisis. El ejercicio está basado en las opiniones de

los integrantes del equipo de trabajo. La comparación considera los tres modelos alternativos de desarrollo de la industria núcleo-eléctrica analizados previamente: propiedad estatal, propiedad privada y propiedad mixta. Se supone que este último corresponde a una empresa con propiedad privada mayoritaria o eventualmente a una empresa con mayoría estatal, pero gestionada por un operador privado con participación significativa en la propiedad.

Para comparar los diversos modelos se emplearon los siguientes criterios de análisis:

1. Radio-protección y seguridad frente a accidentes nucleares
2. Confiabilidad en el suministro de energía
3. Aspectos económicos (costos de generación y capital)
4. Independencia energética
5. Manejo de desechos nucleares
6. Aceptación social de la energía nuclear
7. Probabilidad de materialización de las inversiones

No se incluyó la disponibilidad de recursos humanos calificados, pues, si se decide construir centrales nucleares, será necesario contar con recursos humanos calificados necesarios, cualquiera sea el modelo que se considere.

Se realizó una ronda de consulta, con el propósito de que evaluaran los tres modelos señalados, considerando los siete criterios anteriores. Se solicitó a los consultados que emplearan la siguiente escala de Likert de cinco puntos:

- 5 muy favorable
- 4 favorable
- 3 neutro
- 2 inconveniente
- 1 muy inconveniente

Realizada la ronda de consultas a los miembros del equipo de trabajo, y otorgando una importancia similar a los siete criterios enunciados arriba, el modelo de desarrollo que se considera más conveniente es el modelo de propiedad mixta público-privada con participación privada mayoritaria. A continuación se ubica el modelo totalmente estatal y finalmente el modelo totalmente privado.

De acuerdo a este análisis, el modelo mixto presenta ventajas en varios aspectos. Permite alcanzar elevados niveles de seguridad nuclear y protección radiológica, pues compatibiliza una operación eficiente y desburocratizada, propio de empresas privadas, con un control estatal que evite reducciones inconvenientes en los gastos en materia de seguridad. Otorga una elevada confiabilidad en el suministro de energía eléctrica, cercana a la de una empresa privada y muy superior a una empresa estatal, que no tendría mayor experiencia en la materia. Tiene ventajas en los aspectos económicos, pues reúne los criterios comerciales de una empresa privada, con el acceso preferencial al financiamiento derivada del respaldo del Estado. Da garantías de una adecuada aceptación en el contexto internacional. Permite un adecuado manejo de los desechos nucleares, compatibilizando los criterios de eficiencia, con la visión de largo plazo requerida por el Estado. Resuelve los problemas de aceptación pública de una iniciativa puramente privado, aunque no alcance los niveles de un proyecto totalmente estatal. Tiene una alta probabilidad de que el proyecto pueda ser concluido en forma oportuna, por el respaldo político y administrativo derivado de la presencia del Estado como socio del proyecto, aunque en este sentido los riesgos económicos lo ponen en desventaja frente a un modelo puramente estatal.

El análisis precedente sugiere que en condiciones normales esperadas, un modelo mixto estatal-privado tendría ventajas respecto de las restantes alternativas, pues permitiría afrontar de mejor manera los riesgos asociados al inicio de una industria nuclear de potencia, en un país que no tiene experiencia al respecto. Sin embargo, no se puede descartar que el modelo totalmente privado o totalmente estatal puedan ser más efectivos para tales fines, bajo ciertas circunstancias. Así, por ejemplo, si se lograse establecer un marco regulatorio e

institucional muy robusto, que limite los riesgos de los inversionistas privados, podría pensarse en un desarrollo basado sólo en empresas privadas. Por el contrario, si las medidas adoptadas no son eficaces en reducir los riesgos y atraer inversión privada, la única alternativa posible sería el modelo puramente estatal.

Teniendo en consideración lo indicado previamente, se justificaría que la gran mayoría de los países estudiados hayan adoptado a la fecha un modelo de desarrollo de la industria nuclear de carácter mixto, donde el Estado continúa manteniendo propiedad sobre las centrales de potencia. Los dos extremos opuestos, Francia y Estados Unidos, con sus particularidades políticas, económicas y administrativas, son modelos que difícilmente podrían ser del todo exitosos en un país como Chile.

En todo caso y bajo cualquier escenario el Estado debe proveer, además del marco regulatorio, un mínimo de garantías para cubrir eventos catastróficos. En el caso de que el financiamiento se constituya en un obstáculo para un modelo privado o de mayoría privada, se puede estructurar un esquema en que el Estado se asocie con un operador privado que tome una posición minoritaria en el capital, y se perfecciona y diseña un contrato de operación, además de un pacto de accionistas que regule la participación del operador en el capital de la sociedad. Escoger un operador que además del contrato de operación tenga una participación significativa en el capital es atractivo, ya que permite alinear mejor los incentivos del operador con los del accionista mayoritario, pudiendo tener el operador una opción de compra de acciones a futuro para alcanzar la mayoría de la propiedad.

Por otra parte, el modelo de propiedad mixta tiene la ventaja de que puede ir modificándose según evolucione la industria nuclear. Así, por ejemplo, en una primera fase el Estado puede asumir un rol más preponderante, jugando un papel clave en decisiones referidas, por ejemplo, a la tecnología o la ubicación de las centrales. Posteriormente los inversionistas privados pueden ir asumiendo el papel protagónico, por ejemplo, en la construcción y operación de las centrales, llegando un momento en que la propiedad pueda llegar a ser totalmente privada. En

definitiva, la flexibilidad de un modelo mixto puede favorecer la obtención de los respaldos políticos necesarios para iniciar un proyecto núcleo-eléctrico y facilitar la adaptación de la estructura de propiedad a las necesidades de la industria.

9.4 Posible modelo de desarrollo núcleo-eléctrico para Chile

Con el objeto de ilustrar cómo se podría impulsar un programa de desarrollo núcleo-eléctrico en Chile y sobre la base de los resultados de las secciones precedente, a continuación se presenta un modelo mixto que supone una participación minoritaria del Estado en una empresa creada con el objeto explícito de construir y operar centrales nucleares de potencia en Chile. El modelo también es aplicable si el Estado mantiene una participación mayoritaria, pero adjudica la operación y parte de la propiedad a un operador privado.

Como punto de partida se requiere constituir al alero del Gobierno un equipo de trabajo ("task-force") dotado de gran autonomía, capacidad ejecutiva y recursos, cuya principal tarea sea impulsar las diversas acciones requeridas para implementar un programa núcleo-eléctrico en el país. Este equipo debería diseñar e implementar un Plan de Acción, que incluiría la preparación del marco regulatorio e institucional que permitirá desempeñar las funciones normativas y regulatorias descritas en la Sección 9.1, el que deberá ser presentado a trámite legislativo. Dicho marco debe tener una visión de largo plazo y contemplar la participación de diversos operadores en la industria nuclear de potencia, indistintamente de su régimen de propiedad, de la misma forma cómo lo hace la actual legislación eléctrica. El equipo de trabajo deberá también desarrollar los numerosos estudios requeridos para impulsar el proyecto núcleo-eléctrico, incluyendo aquellos identificados en la "Comisión Zanelli".[5] Entre otras materias, se requiere abordar estudios referidos a la localización, opciones tecnológicas, plan de capacitación de recursos humanos, planes de emergencia en caso de accidentes, diseño de garantías y seguros, etc. Asimismo se deberá abordar la preparación de un plan de difusión y comunicaciones, que permita validar la

[5] Grupo de Trabajo Núcleo Eléctrico, designado por la Presidenta Michelle Bachelet y dirigido por Jorge Zanelli.

alternativa nuclear ante la opinión pública y los habitantes de las zonas donde se puedan instalar las centrales.

Para el efectivo avance del programa, es esencial que el equipo tenga un alto nivel en el Ejecutivo, cuente con profesionales especializados, con dedicación plena al proyecto y desvinculados de los problemas de coyuntura, y sea dirigido por un jefe con gran liderazgo, que cuente con una amplia experiencia en la gestión de proyectos complejos. Debe contar con una asesoría permanente de la IAEA y expertos extranjeros, e iniciar la preparación de recursos humanos especializados, mediante programas en el exterior. Idealmente el equipo debería representar a un consejo de ministros, como el que actualmente conforma la Comisión Nacional de Energía.

Suponiendo que se ha avanzado en las tareas anteriores, se ha llegado a la conclusión que es conveniente impulsar un programa nuclear de potencia y se ha adoptado la decisión política respectiva, se deberá obtener la aprobación legal para que el Estado participe en una empresa productiva, cuyo objeto es la construcción y operación de centrales nucleares. Dicha empresa puede constituirse como una sociedad anónima, filial de la Corporación de Fomento (CORFO), cuyas acciones pertenecerían inicialmente en su totalidad al Estado.[6]

Una vez constituida la empresa, con un patrimonio suficiente para financiar sus operaciones iníciales, se deberá conformar su personal con un pequeño equipo técnico de alto nivel, algunos de cuyos profesionales puede provenir del equipo de trabajo gubernamental o del equipo técnico que existe en la CCHEN. La empresa deberá absorber aquellas tareas desempeñadas inicialmente por dicho equipo que se refieran específicamente al proyecto de instalar las plantas nucleares. Posteriormente, a medida que se desarrolla y se expande su capital, incorporando

[6] Otra opción es que el Estado participe a través de empresas ya existentes, por ejemplo CODELCO, que es un gran consumidor de energía, o ENAP, empresa energética que tiene experiencia en realizar proyectos conjuntos con inversionistas privados. Sin embargo, se estima preferible una empresa creada especialmente, entre otras cosas, para no distraer a las primeras de sus operaciones habituales y para asegurar que se cuenta con el apoyo político (legislativo) para impulsar el proyecto.

capital privado, la empresa deberá ir asumiendo nuevas tareas, entre las cuales se incluyen:

- Capacitar los profesionales necesarios para diseñar y poner en marcha el programa de desarrollo núcleo-eléctrico, estimándose que se pueden requerir del orden de cien profesionales previo a la construcción y alrededor de ochocientos en la fase de operación -suponiendo una central de 1000 MW- incluyendo personal administrativo y de seguridad.
- Resolver sobre el tamaño, número y fecha de construcción de las centrales, sobre la base de criterios técnicos y económicos, teniendo en cuenta los requerimientos de largo plazo del sector eléctrico.
- Seleccionar el o los sitios donde se emplazarían las primeras centrales, velando porque los mismos cumplan con los requerimientos de seguridad y se encuentren disponibles al momento que se inicie la construcción.
- Teniendo en cuenta aspectos referidos a seguridad, confiabilidad y economía, seleccionar las tecnologías de reactores y proveedores que satisfagan las necesidades de potencia y seguridad nuclear.
- Tramitación de autorizaciones técnicas (nucleares), eléctricas y ambientales requeridas para la construcción y operación de las centrales,
- Preparar e implementar los contratos y licitaciones requeridos para convocar a operadores y proveedores de instalaciones y equipos.
- Negociar los contratos de largo plazo para contar con un suministro confiable y económico de combustible nuclear, para una operación segura de las centrales durante su vida comercial esperada.
- Asegurar la totalidad de los recursos financieros requeridos por el programa en el corto y mediano plazo, y contratar los seguros requeridos para acotar los riesgos del proyecto.
- Actuar en calidad de contraparte durante el período de construcción y puesta en marcha de las centrales, y operarlas una vez que estén instaladas.
- Operar y mantener las centrales y planificar las nuevas inversiones de las empresas.

- Llevar a cabo la gestión del combustible agotado y de los otros desechos nucleares que se generen durante la operación de las centrales.
- Interactuar con los habitantes y autoridades de las zonas donde las plantas están emplazadas, e implementar programas de comunicación y difusión pública.

Respecto de la participación privada, es deseable que ella se incorpore en la empresa núcleo-eléctrica en una fase temprana de su desarrollo, de modo que los inversionistas privados puedan participar en las principales decisiones estratégicas, técnicas y económicas. Sin embargo, la disposición de participar de los privados dependerá de que se haya logrado acotar los riesgos, lo cual a su vez puede requerir que la empresa haya adoptado algunas definiciones previas sobre el proyecto y haya tramitado las autorizaciones correspondientes. Entre ellas se podrían contar la elección de un sitio, la decisión de opciones tecnológicas factibles (sujeto a las normas regulatorias), las autorizaciones ambientales o licencias nucleares.

Reconociendo que existen muchas opciones posibles, se plantean dos alternativas de incorporación de capital privado. La primera supone que CORFO convoque mediante licitación privada a un socio operador, con gran experiencia en la instalación y operación de centrales nucleares, quien asumirá una participación mayoritaria o significativa en la empresa (por ejemplo, 60%) y participará en las decisiones claves, sin perjuicio de que se podrán establecer resguardos de modo de que se requiera la aprobación de ambos socios en aspectos críticos, como son la elección del sitio o el proveedor de la tecnología y equipos. Los interesados deberán precisar si su oferta contempla un concurso posterior para contratar al proveedor o lleva atada la elección de una determinada tecnología. En cualquier caso se deberán poner salvaguardias que aseguren que en las centrales que se adquirirán a futuro, el país no quede a merced de un monopolio. Se debe tener en cuenta que en general, por economías de escala, es eficiente programar la contratación de al menos dos centrales.

Esta alternativa puede ser relativamente simple, pero presenta dos posibles inconvenientes. Por una parte, puede favorecer que se privilegien criterios políticos al momento de optar por un socio operador, en desmedro de los criterios técnico-económicos, en un contexto de fuertes presiones externas para influir en los resultados del proceso. Por otra, no se hace cargo de la falta de experiencia que el Estado tiene como operador o consumidor en el mercado eléctrico chileno, la que no necesariamente podrá ser suplida por operadores internacionales de centrales núcleo-eléctricas.[7]

La segunda alternativa se hace cargo de estos aspectos, mediante la incorporación del capital privado en dos fases. En una primera etapa CORFO puede abrir la propiedad de la empresa núcleo-eléctrica, de modo que se incorporen con un porcentaje mayoritario (por ejemplo, 60%) uno o más inversionistas privados que, junto con aportar recursos, participen en las decisiones claves. Entre ellos se puede contar a una empresa de generación eléctrica, grandes clientes o inversionistas institucionales, pudiendo eventualmente ponerse restricciones a la máxima participación individual de cada inversionista privado. En esta etapa se evitará que se incorporen proveedores u operadores de centrales, de modo que el conjunto de inversionistas pueda evaluar las distintas opciones posibles, con independencia de los intereses de dichos actores o consideraciones políticas.[8]

En una segunda etapa, los inversionistas reunidos en la nueva empresa –incluyendo al Estado- pueden convocar a una licitación privada para escoger a un socio operador, que tenga una amplia experiencia en la instalación y operación de centrales nucleares. Los interesados deberían precisar si su oferta contempla un concurso posterior para contratar al proveedor o lleva atada la elección de una determinada tecnología. En cualquier caso se deben poner salvaguardias que

[7] Para superar este problema se podría incorporar a ENAP o CODELCO, las que tienen experiencia en el sector energético chileno, ya sea como proveedor o consumidor o contratar profesionales chilenos con experiencia en el área.

[8] En líneas generales este es el enfoque utilizado por ENAP o CODELCO al impulsar los proyectos de gas natural licuado, quienes se asociaron a empresas privadas en forma previa a la elección de los proveedores de tecnología y combustible.

aseguren la contratación de proveedores en forma competitiva, teniendo en cuenta, como señalamos en la alternativa anterior, que es eficiente programar la contratación de dos o más centrales en un horizonte amplio de tiempo asegurando precios competitivos. El socio operador debería aportar capital a la empresa, alcanzando un porcentaje de la propiedad significativo, aunque minoritario (por ejemplo 35%). El Estado y el grupo de restantes inversionistas privados diluirían proporcionalmente su participación, de modo que ninguno controle por si mismo la empresa.

Ya sea que se adopte uno u otro modelo de incorporación de capital privado, una vez elegido el socio operador, es posible proceder a la contratación de los reactores y empresas constructoras, a negociar la provisión de combustible, asegurar el financiamiento, concluir la aprobación de las autorizaciones ambientales y nucleares, y desarrollar una infinidad de decisiones adicionales, incluyendo las relaciones con la comunidad, las que serán esenciales para el éxito del proyecto. Cabe señalar que el costo de evaluar tecnologías es muy elevado, por lo que las opciones a considerar deberán limitarse a dos o tres, las que deberán ser consistentes con las tecnologías licenciadas por la autoridad regulatoria.

En etapas posteriores del desarrollo de la industria nuclear, una vez que las primeras centrales se hayan construido y se encuentren operando, será posible evaluar la conveniencia de reducir la participación del Estado y eventualmente privatizarla en su totalidad, sin perjuicio de considerar cláusulas que le permitan influir en la adopción de decisiones claves (por ejemplo, a través de un “golden share”). [9]

9.5 Conclusiones

El análisis efectuado en este capítulo indica que existen distintos modelos posibles para el desarrollo de un programa nuclear de potencia en Chile. En todos

[9] Un ejemplo en que el Estado se ha ido retirando gradualmente de la propiedad de empresas reguladas lo brinda el sector sanitario chileno, donde a partir de los fines de los años noventa se impulsó un masivo plan de privatizaciones.

ellos, al Estado le corresponde asumir las funciones normativas, regulatorias y fiscalizadoras, de modo de asegurar que la operación de la industria y el manejo de los desechos nucleares (el "liability" nuclear) sean compatible con la seguridad de las personas, la preservación del medio ambiente y los acuerdos internacionales. En cambio, los modelos difieren en la forma cómo participa el Estado y el sector privado en la propiedad y operación de las centrales.

Los antecedentes presentados indican que en condiciones normales esperadas, un modelo mixto con propiedad privada mayoritaria o al menos con operación privada, tendría ventajas respecto de las restantes alternativas, pues permitiría afrontar de mejor manera los riesgos asociados al inicio de una industria nuclear de potencia, en un país que no tiene experiencia al respecto. Además, su flexibilidad le permitiría ir modificándose a medida que la industria evoluciona, previéndose un papel más intenso del Estado en las fases iníciales y el predominio del sector privado en las fases posteriores, incluyendo una eventual privatización plena.

Se ha presentado un modelo ilustrativo de desarrollo de la industria núcleo-eléctrica, el que contempla la creación por el Estado, a través de CORFO, de una empresa cuyo fin es la construcción y operación de centrales nucleares, la cual se abre al capital privado, con la participación de un operador experimentado a nivel internacional e inversionistas privados nacionales que estén interesados en el proyecto. En este modelo el Estado le entrega el control de la empresa al sector privado, pero mantiene una presencia que facilita la obtención de autorizaciones y financiamiento, y la aceptación pública del proyecto.

Independiente de si se aplica este u otro modelo de desarrollo, es indispensable que en forma previa a la creación de una empresa, se constituya un equipo de trabajo altamente calificado, con capacidad ejecutiva, recursos y experiencia en la gestión de proyectos complejos, que impulse un plan de acción nuclear. Este plan de acción debe considerar las numerosas actividades involucradas en un programa nuclear, incluyendo la capacitación de recursos humanos, la preparación de propuestas legislativas, la evaluación de opciones

técnicas y económicas, y la implementación de un programa de comunicaciones y difusión pública. La falta de un equipo y un plan de acción con estas características es un obstáculo insalvable para el desarrollo de un programa nuclear de potencia.

A APENDICE: EXPERIENCIAS INTERNACIONALES 225

A.1 Canadá 225

A.1.1 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética 225
A.1.2 Marco Legal 227
A.1.3 Marco Institucional y Regulatorio 229
A.1.4 Seguridad en el suministro de Combustible 232
A.1.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear 234
A.1.6 Role de la Industria Privada en Energía Nuclear 236
A.1.7 Requerimientos de Recursos Humanos 238
A.1.8 Seguridad y Salvaguardias 239
A.1.9 Salud y Seguridad 240
A.1.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear 240

A.2 Estados Unidos 242

A.2.1 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética 242
A.2.2 Marco Jurídico 249
A.2.3 Marco Institucional y Regulatorio 252
A.2.4 Seguridad del suministro de combustible 258
A.2.5 Rol del gobierno en la energía nuclear 265
A.2.6 Rol de la industria privada en la energía nuclear 271
A.2.7 Requerimientos de recursos humanos 277
A.2.8 Seguridad y garantías 279
A.2.9 Salud y Seguridad 281
A.2.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear 282

A.3 Finlandia 283

A.3.1 Contribución Nuclear a la Matriz Energética 283
A.3.2 Marco Legal 285
A.3.3 Marco Institucional y Normativo 285
A.3.4 Seguridad en el Suministro de Combustible 287
A.3.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear 288
A.3.6 Rol de la Industria Privada en Energía Nuclear 290
A.3.7 Requerimientos de Recursos Humanos 290
A.3.8 Seguridad y Salvaguardias 291
A.3.9 Salud y Seguridad 291
A.3.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear 292

A.4 Francia 293

A.4.1 Contribución Nuclear a la Matriz Energética 293
A.4.2 Marco Legislativo 296
A.4.3 Marco Institucional y Normativo 298
A.4.4 Seguridad en el Suministro de Combustible 298
A.4.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear 299
A.4.6 Rol de la Industria Privada en Energía Nuclear 300
A.4.7 Requerimientos de Recursos Humanos 301
A.4.8 Seguridad y Salvaguardias 301
A.4.9 Salud y Seguridad 302
A.4.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear 303

A.5 Reino Unido 304

A.5.1 Contribución de la energía nuclear a la matriz energética 304
A.5.2 Marco Legal y Regulatorio 320
A.5.3 Tecnología: Especificaciones generales y proveedores 326

A.5.4 Seguridad Nuclear y Protección Radiológica 330
A.5.5 Rol del Gobierno en la energía nuclear....346
A.5.6 Rol de la industria privada en la energía nuclear 349
A.5.7 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear 350
A.5.8 Recursos Humanos 355
A.5.9 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear 356
A.5.10 Referencias Bibliográficas e Internet 359

A.6 República Checa.... 361
A.6.1 Marco legal e institucional dentro....364
A.6.2 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética....366
A.6.3 La seguridad de las instalaciones nucleares....371
A.6.4 La gestión de los desechos radiactivos 373
A.6.5 Medidas que el Estado ha adoptado en cada país para permitir la efectiva participación del sector privado 375
A.6.6 Seguridad y Salvaguardias....376
A.6.7 Recursos humanos 377
A.6.8 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear 378
A.6.9 Bibliografía....380

A.7 Suiza 382
A.7.1 Contribución de la Energía Nuclear a la matriz energética....382
A.7.2 Marco Institucional y Regulatorio 387
A.7.3 Tecnología: Especificaciones generales y proveedores 396
A.7.4 Rol del Gobierno en la energía nuclear....410
A.7.5 Rol de la industria privada en la energía nuclear 411
A.7.6 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear 412
A.7.7 Requerimientos de Recursos Humanos....415
A.7.8 Actitudes hacia la energía nuclear 417

A.8 Corea del Sur 420
A.8.1 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética....420
A.8.2 Marco Legal....423
A.8.3 Marco Institucional y Regulador 423
A.8.4 Seguridad en el suministro de Combustible....424
A.8.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear....425
A.8.6 Seguridad y Salvaguardias....430
A.8.7 Recursos Humanos 431
A.8.8 Salud y Seguridad....432
A.8.9 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear 432

A.9 España.... 433
A.9.1 Contribución de la Energía Nuclear a la matriz energética de España 433
A.9.2 Marco legal y regulatorio....441
A.9.3 Seguridad de suministro de combustible nuclear....447
A.9.4 Seguridad y Protección Nuclear....448
A.9.5 Manejo de Residuos Nucleares....457
A.9.6 Decomisionamiento de Centrales Nucleares....463
A.9.7 Compromisos Nacionales e Internacionales 466
A.9.8 Rol del gobierno en la energía nuclear....468
A.9.9 Rol de la industria privada en la energía nuclear 471
A.9.10 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear 473
A.9.11 Recursos Humanos....475
A.9.12 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear 476
A.9.13 Referencias Bibliográficas e Internet 477

A.10 Suecia 479
A.10.1 Contribución de la energía nuclear en la matriz energética 479
A.10.2 Marco legal y regulatorio 486
A.10.3 Tecnología: Especificaciones generales y proveedores 489
A.10.4 Seguridad de suministro de combustible nuclear 492
A.10.5 Seguridad y Protección Nuclear 493
A.10.6 Manejo de Residuos Nucleares 499
A.10.7 Decomisionamiento de Centrales Nucleares 501
A.10.8 Compromisos Nacionales e Internacionales 503
A.10.9 Rol del Gobierno en la energía nuclear 506
A.10.10 Rol de la industria privada en la energía nuclear 509
A.10.11 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear 511
A.10.12 Requerimientos de Recursos Humanos 513
A.10.13 Actitudes hacia la Energía Nuclear: Opinión Pública y Oposición 513
A.10.14 Referencias Bibliográficas e Internet 515

B ANEXO: MAPA GEOGRÁFICO DE LOS RECURSOS ELÉCTRICOS EN EL SIC 517

C ANEXO: SISMICIDAD HISTÓRICA EN LAS REGIONES DE CHILE PERTENECIENTES AL SIC 522

A APENDICE: EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

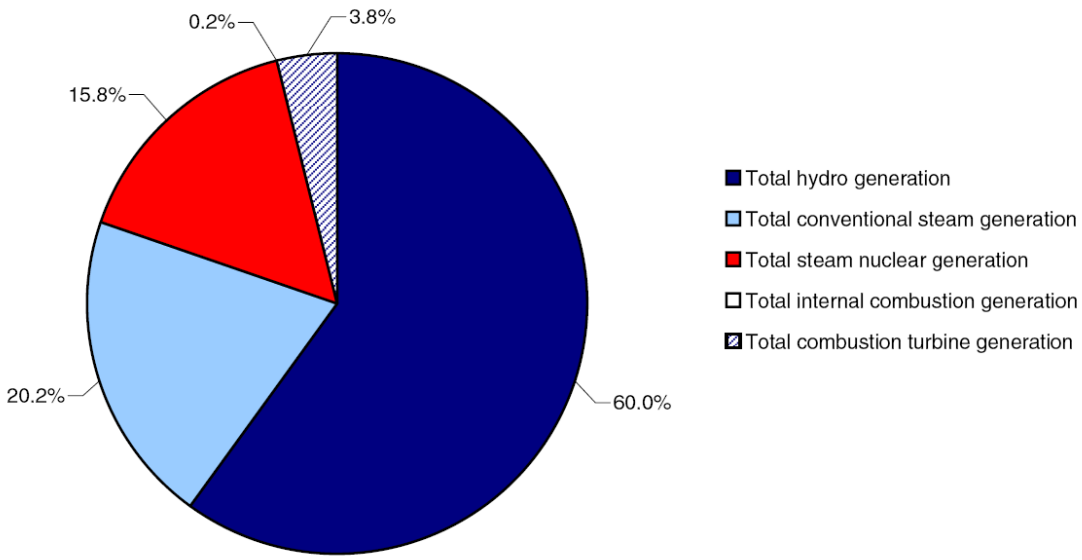
A.1 Canadá

A.1.1 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética

La generación interna de electricidad en Canadá está compuesta principalmente por fuentes hidroeléctricas (60% en 2006). También es importante el aporte de las plantas convencionales de generación de vapor mediante la quema del carbón, gas natural y de otros combustibles fósiles (20,2% en 2006) y la generación nuclear (15,8% en 2006).

La Figura A.1.1 muestra la composición energética en Canadá en 2006.

Figura A.1.1 Producción de energía interna en Canadá el 2006



Fuente: Statistics Canada (SC) 2007. Canadian Environmental Sustainability Indicators: Socio-economic Information – 2007. Catalogue No. 16-253-X

Actualmente veinte reactores nucleares CANDU se encuentran operativos o en remodelación en Canadá. La Tabla 2.1 entrega la información básica y propiedad para cada reactor. Además, está planificado o propuesto contar con al menos diez reactores más en Canadá (ver tabla A.1.2).

Tabla A.1.1 Reactores Nucleares de Potencia en Canadá

Nombre	Dueño	MW	Estado	Puesta en marcha[1]	Año de cierre esperado
Pickering A 1	Ontario Power Generation	515	Operando	1971/2005	2022
Pickering A 4	Ontario Power Generation	515	Operando	1972/2003	2018
Pickering B 5	Ontario Power Generation	516	Operando	1982	2014
Pickering B 6	Ontario Power Generation	516	Operando	1983	2015
Pickering B 7	Ontario Power Generation	516	Operando	1984	2016
Pickering B 8	Ontario Power Generation	516	Operando	1986	2017
Bruce A 1[2]	Bruce Power	750	Remodelación	1977/2009	2035
Bruce A 2[2]	Bruce Power	750	Remodelación	1976/2009	2035
Bruce A 3	Bruce Power	750	Operando	1977/2003	2036
Bruce A 4	Bruce Power	750	Operando	1978/2003	2036
Bruce B 5	Bruce Power	822	Operando	1984	2014
Bruce B 6	Bruce Power	822	Operando	1984	2014
Bruce B 7	Bruce Power	822	Operando	1986	2016
Bruce B 8[3]	Bruce Power	795	Operando	1987	2017
Darlington 1	Ontario Power Generation	881	Operando	1990	2020
Darlington 2	Ontario Power Generation	881	Operando	1990	2020
Darlington 3	Ontario Power Generation	881	Operando	1992	2022
Darlington 4	Ontario Power Generation	881	Operando	1993	2023
Gentilly 2	Hydro Quebec	638	Operando	1982	2011
Point Lepreau 1	New Brunswick Power	635	Remodelación	1982	2034
	Total	12,652			

[1]La segunda fecha es la de retorno a servicio.
[2]No incluida en el total.

Tabla A.1.2 Reactores nucleares de potencia planeados y propuestos en Canadá

Empresa	Lugar	Capacidad/Número de reactores propuestos	Tipo	Fecha de inicio de operaciones estimada
Bruce Power	Bruce ON	4 x 1000	Desconocido	2014
OPG	Darlington ON	4 x 1000	Desconocido	2014
New Brunswick	Point Lepreau NB	1 x 1100	ACR-1000	Desconocida

Power				
Bruce Power Alberta	Peace River AB	1-4 x 1100	Desconocido	2017

Fuente: http://www.world-nuclear.org/info/inf49.html accessed September 2008-09-19

A.1.2 Marco Legal

Bajo el "Acta de Seguridad y Control Nuclear" (NSCA), la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC) es responsable de la regulación de todas las "instalaciones nucleares y actividades nucleares relacionadas en Canadá" (CNSC 2006ª). Creada el 31 de Mayo de 2000, cuando la NSCA entró en vigencia, la CNSC reemplazó a la Junta de Control de Energía Atómica, la cual había supervisado la industria nuclear canadiense por más de 50 años. Antes de, y reemplazado por la NSCA, la regulación de las actividades nucleares en Canadá estaba bajo el Acta de Control de Energía Atómica (CNA 2007a).

Existen muchos aspectos en la construcción, operación y decomisionamiento de una instalación nuclear (incluyendo reactores nucleares, minas de uranio e instalaciones que procesen material radioactivo) que caerán bajo la jurisdicción del gobierno regional (provincial) al que le competa. Sin embargo la CNSC requiere que cuando se solicite una licencia, el postulante siga el proceso de Evaluación Ambiental Canadiense (CEA) y la Major Projects Management Office (MPMO). Así como otras legislaciones de orden federal y condiciones de aprobación que sean aplicables a la licencia de la CNSC.

Como parte de la aprobación, el postulante debe recibir un visto bueno bajo la Sección 5(1)(d) del Acta de Evaluación Ambiental Canadiense (CEAA). Una planta nuclear de potencia está sujeta a un proceso de Estudio e Informe Comprensivo. También es probable que una nueva instalación pueda ser revisada por un panel de la CEAA. La decisión del Ministerio de Medioambiente, como resultado de la revisión de la Agencia de la CEA, debe determinar si es poco probable que el proyecto propuesto cause efectos medioambientales adversos luego de la aplicación de medidas de mitigación. Si esta determinación no se puede llevar a cabo, el proyecto no recibirá la aprobación para proceder, tampoco recibirá la licencia para preparar el sitio ni el permiso para realizar actividades subsecuentes.

En Octubre de 2007 el Ministerio federal de Recursos Naturales (NRCan) anunció la formación de the Major Project Management Office (MPMO). La MPMO actuará como un punto de contacto para todas las agencias participantes durante el proceso regulatorio federal para proyectos de mayores recursos. Las autoridades federales usarán la MPMO para facilitar de manera efectiva, coordinada y concurrente la implementación de sus labores y funciones legales.

Todos los proyectos de recursos mayores que sean procesados según el proceso regulatorio federal serán acompañados por un Acuerdo de Proyecto. El Acuerdo de Proyecto entrega el rol, las responsabilidades y los detalles de los compromisos de cada autoridad federal relacionada con la administración del proyecto. De acuerdo con la Cabinet Directive, los Deputy Ministres cuyos departamentos tengan responsabilidades específicas en algún proyecto firmarán el Acuerdo de Proyecto. Las entidades federales que tengan funciones cuasi judiciales como la CNSC pueden incluso elegir entrar dentro de los Acuerdos de Proyecto, pero no están obligadas a hacerlo.

Además de la NSCA, la CNSC administra el Acta de Responsabilidad Nuclear y a puesto en marcha las siguientes regulaciones:

- Reglas de Procedimiento de la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear
- Regulaciones de Seguridad Nuclear General y Control
- Regulaciones de Protección de Radiación
- Regulaciones de Instalaciones Nucleares Clase I
- Regulaciones de Instalaciones Nucleares Clase II y Equipos Prescritos
- Regulaciones de Minas y Molinos de Uranio
- Regulaciones de Sustancias Nucleares y Equipos de Radiación
- Regulaciones de Embalaje y Transporte de Sustancias Nucleares
- Regulaciones de Seguridad Nuclear
- Regulaciones de Control de No Proliferación Nuclear en Importación y Exportación
- Regulaciones de Recuperación de Costos de Derechos de la CNSC

Así como por ley (Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear Por-leyes). Además, la CNSC Implementa un acuerdo bilateral con la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) que verifica las salvaguardias nucleares.

Debido al alto interés y preocupación publica por el manejo del combustible nuclear en el largo plazo, el Gobierno de Canadá desarrolló el Acta de Residuos del Combustible Nuclear, la que entró en vigencia en Noviembre de 2002.

A.1.3 Marco Institucional y Regulatorio

A.1.3.1 Federal

Desde la publicación de Proceso de Licenciamiento para Nuevas Plantas de Potencia Nuclear en Canadá en el 2006 por la CNSC, ésta resume su propio rol en el marco regulatorio nuclear en Canadá:

> *La CNSC regula el uso de la energía y materiales nucleares para proteger la salud, garantías, seguridad y el medioambiente y para respetar los compromisos internacionales de Canadá en el uso pacífico de la energía nuclear. Es una agencia reguladora federal independiente y un tribunal administrativo cuasi judicial. La CNSC está compuesta por dos unidades: Comisión tribunal y staff de la organización. La Comisión tiene la responsabilidad 1) de establecer las políticas regulatorias en temas relacionados a la salud, garantías, seguridad y medioambiente, 2) hacer regulaciones legales vinculantes, y 3) tomar decisiones de licenciamiento basadas en leyes y regulaciones. El personal de la CNSC revisa los formularios de los postulantes a las licencias acorde a los requerimientos regulatorios, hacen recomendaciones a la Comisión, y hace que se cumplan en conformidad con la NSCA, regulaciones, y cualquier condición de la licencia impuesta por la comisión.*

La CNSC supervisa y desarrolla regulaciones relacionadas a reactores nucleares, minas de uranio, materiales radiactivos y sus usos, residuos radiactivos y otras actividades o materiales relacionados. Las regulaciones más fundamentales se aplican a todas las actividades y definen las dosis límites de radiación para trabajadores y miembros del público. Los valores en estas regulaciones están basados en los que recomienda la Comisión Internacional en Protección Radiológica (ICRP) (CNA 2007a)

Se requiere que cada instalación nuclear postule y obtenga licencias para:

- Preparación del sitio;
- Construcción de la instalación;
- Operación en el sitio;
- Decomisionamiento del sitio;
- Abandono del sitio.

Las licencias de la CNSC establecen las condiciones para las actividades relacionadas a la construcción, operación o decomisionamiento de una instalación nuclear. Las licencias son expedidas sólo luego de que la CNSC estima que el postulante está calificado para llevar a cabo la actividad y que protegerá de manera adecuada el "medioambiente, la salud y seguridad de las personas y la mantención de la seguridad nacional y las medidas requeridas para implementar las obligaciones internacionales que Canadá haya acordado." (NCSA 1997 sección 24(4)(b)).

En la actualidad, la CNSC está en el proceso de actualización del marco regulatorio de plantas de potencia nuclear. El marco actualizado se basará en los estándares internacionales y las mejores prácticas, incluyendo los estándares de seguridad nuclear de la IAEA, en lo posible. El estándar actual de evaluación de sitio para instalaciones nucleares es provisto por la IAEA (No. NS-R-3), pero un borrador de *Evaluación de Sitio para Nuevas Plantas de Potencia Nuclear* (RD-346) ha sido emitido por la CNSC.

La Organización de Manejo de Residuos Nucleares (NWMO) fue establecida en 2002 bajo el Acta de Residuos de Combustible Nuclear (NFWA) para investigar formas de manejo del combustible nuclear usado de Canadá. La NFWA solicitó a las compañías de generación eléctrica, que producen combustible nuclear usado, establecer una organización de manejo de residuos para entregar recomendaciones al Gobierno de Canadá en el manejo de largo plazo de combustible nuclear usado (NWMO 2008).

La legislación autorizó al Gobierno de Canadá a decidir el enfoque acerca de los residuos nucleares en Canadá. En Junio de 2007, el gobierno seleccionó la Adpatación Gradual de Gestión (APM), el enfoque recomendado por la NWMO. La organización

ahora es responsable de implementar la APM, sujeta a todas las regulaciones necesarias para su aprobación (NWMO 2008).

En Canadá, numerosas agencias federales juegan un rol en la regulación y aprobación de operación de instalaciones nucleares, nuevas y existentes. El Ministro de Recursos Naturales de Canadá es responsable de asegurar el mejor futuro energético para Canadá desarrollando políticas y programas relacionados. La CNSC y la AECL, una corporación de la corona, y la NWMO se reportan ante Recursos Naturales de Canadá.

Health Canada juega un rol en proteger al público de los riesgos de la exposición a la radiación. Lidera el Plan Federal de Emergencia Nuclear y también apoya la Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty. La Oficina de Protección de la Radiación gestiona todas estas actividades. El rol de Transport Canada es asegurar la seguridad pública durante el traslado de bienes peligrosos o irradiados. El rol de Industry Canada es fomentar el crecimiento de la industria de energía nuclear Canadiense bajo la responsabilidad de Manufacturing Industries Branch. La Agencia de Evaluación Medioambiental Canadiense (CEAA) depende directamente del Ministro de Medioambiente y conduce entrevistas y evaluaciones medioambientales. Postular a una licencia de la CNSC gatilla una evaluación medioambiental (CNA2007b).

A.1.3.2 Provincial y Territorial

La CNSC solicitará a todas las plantas de potencia nuclear obtener la aprobación provincial o territorial necesaria como parte de los requerimientos de aprobación. Los requerimientos varían por provincia/territorio. Como ejemplo, en la provincia de Ontario, la CNSC trabaja con la Rama de Evaluación y Aprobación Medioambiental del Ministerio de Medioambiente de Ontario para determinar si es que hay requerimientos de evaluación medioambiental provinciales. Durante la preparación del sitio, construcción, operación y decomisionamiento en las instalaciones nucleares de Ontario, los operadores deben asegurar la conformidad con los requerimientos provinciales respecto a las descargas al aire y al agua que son reguladas a través del Acta de Protección Medioambiental y el Acta de Recursos de Agua.

El Ministro de Medioambiente regula las descargas de sustancias no radiactivas a través de Certificados de Aprobación y, en el caso de la emisión de efluentes líquidos, a través de regulaciones promulgadas bajo la Estrategia Municipal Industrial de Reducción. El uso del agua del lago Ontario está determinado por el Permiso de Uso de Aguas provincial. Además, los operadores de Ontario NPP deben registrarse en el Ministerio de Medioambiente de Ontario como generadores de residuos peligrosos, incluyendo la preparación y presentación del Informe Anual de Registro de Generadores, requerido por la Regulación General de Manejo de Residuos de Ontario.

A.1.4 Seguridad en el suministro de Combustible

A.1.4.1 Al interior del País

Los requerimientos Canadienses de combustible nuclear son completamente cubiertos por fuentes Canadienses. La tabla A.1.3 resume la producción reciente de las minas de uranio en Canadá. En el 2007, 17,5% de la producción interna de uranio fue consumida en Canadá; La producción Canadiense representó el 23% de la producción mundial de uranio. La tabla A.1.4 provee valores de las exportaciones de uranio desde Canadá.

Tabla A.1.3 Producción de las minas de uranio canadienses (tons U_3O_8)

Mine	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 (6 meses)
McArthur River	4409	7830	8490	6877	8491	8491	8492	8492	4149
Key Lake	474	353	*	*	-	-	-	-	
McClean Lake	2722	2994	2762	2734	2724	2490	814	867	792
Rabbit Lake	3290	2070	519	2690	2462	2732	2326	1821	686
Cluff Lake	1702	1496	1918	32	-	-	-	-	
CN TOTAL	12597	14743	13689	12333	13676	13713	11632	11180	5628
World	40962	42886	42529	41998	47430	49052	46499	48680	

*Valor fue incluido en el total de McArthur River.

Tabla A.1.4 Producción de las minas de uranio canadienses

Toneladas de Uranio														
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 (6 meses)

Toneladas de Uranio														
	1995	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008 (6 meses)**
McArthur River						3739	6640	7199	5831	7200	7200	7200	7199	3518
Key Lake	5464	5429	5434	5386	3731	402	299	*	*	-	-	-	-	
McClean Lake					560	2308	2539	2342	2318	2310	2112	690	734	672
Rabbit Lake	3148	3973	4663	4502	2693	2790	1755	440	2281	2087	2316	1972	1544	582
Cluff Lake	1214	1926	1964	1039	1234	1443	1269	1626	27	-	-	-	-	
TOTAL	10473	11705	12061	10924	8214	10682	12501	11607	10458	11597	11628	9863	9477	4772
cf. World	33300	35784	35692	33728	31065	34734	36366	36063	35613	40219	41595	39429	41279	

Fuente: NRCan, company sources.

* = menor, incluido en la figura de McArthur River.

Tabla 2.5 Exportaciones canadienses de uranio (tons U_3O_8)

Producción	2005	2006	2007
Producción Canadiense	11628	9863	9477
menos: Uso domestico	1607	1620	1661*
Exportación Canadiense	10021	8243	7816

* de WNA Market Report

En Canadá, Cameco Corporation refina y procesa uranio en instalaciones en Ontario. La refinería de Cameco en Blind River (ON) toma concentrado de oxido de uranio (U_3O_8) de minas en Canadá y en el extranjero y lo refina en UO_3. El UO_3 es transportado por camiones a Port Hope (ON) donde Cameco tiene capacidad para convertir 12,400 toneladas de UO_3 por año a hexafluoruro de uranio (UF_6) y provee el único suministro comercial de combustible de grado natural (sin enriquecer) de dióxido de uranio (UO_2). El UF_6 es enriquecido fuera de Canadá para su utilización en reactores de agua liviana. El UO_2 natural es usado para fabricar paquetes de combustible para reactores CANDU en Canadá y en el extranjero en dos plantas de fabricación de combustible en ON que procesan aproximadamente 1,900 toneladas de UO_2 por año en pellets de combustible (WNA 2008).

A.1.4.2 Externo

Las necesidades de suministro de combustible en Canadá son satisfechas internamente.

A.1.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear

A.1.5.1 Suministro de Combustible

El gobierno canadiense no está envuelto en el suministro del combustible para las plantas nucleares.

A.1.5.2 Investigación y Desarrollo

La investigación nuclear en Canadá es llevada a cabo por un número de instituciones que incluyen a Atomic Energy of Canada Limited (AECL), the CANDU Owners Group Inc. (COG), the National Research Council (NRC), the nuclear power

generating companies, MDS Nordion, otras empresas del sector privado, universidades, y otras instituciones. Sin embargo, la principal fuente de recursos para la investigación y desarrollo (I+D) es el gobierno federal.

AECL y el NRC han recibido la mayor cantidad de fondos federales para I+D, siendo AECL el que ha recibido más.

A pesar que sus activos nucleares fueron transferidos a AECL en 1952, el NRC continúa dando apoyo a los programas académicos nucleares de I+D a través de universidades e investigadores independientes. El NRC fue parte integral de la industria nuclear Canadiense en sus tempranos inicios, y estuvo fuertemente involucrado con el diseño del Zero energy Experimental Pile (ZEEP) reactor en Chalk River en el año 1946. En el presente la NRC es importante para facilitar la ciencia nuclear en Canadá, operando un laboratorio de haz de neutrónes en Chalk River (AECL 2008).

Los gastos Canadienses en I+D en energía nuclear han resultado en el sistema de reactor de agua pesada CANDU, el cual a diferencia de los reactores de agua liviana, utiliza uranio natural como combustible. AECL utiliza sus recursos para mejorar el diseño de los reactores de potencia CANDU, y explora mejoras continuas en sus productos y servicios (AECL 2008)

El más reciente y ambicioso proyecto consiste en desarrollar dos reactores avanzados, el Advanced CANDU Reactor (ACR-1000®), perteneciente a la clase de los reactores de 1,200 MW de tubos a presión, y el Enhanced CANDU 6, el cual es un reactor de la clase 700 MW (AECL 2008).

La I+D de AECL también apoya mejoras en la seguridad, desempeño, licenciamiento y diseño de los reactores CANDU. Parte de este trabajo es llevado a cabo con costos compartidos junto a COG. AECL también trabaja en el desarrollo de políticas públicas para la tecnología nuclear. AECL también trabaja en promover la tecnología CANDU pre-comercial y desarrollar las habilidades y conocimientos que serán requeridos para manejar potenciales problemas (CERI 2008).

A.1.5.3 Propiedad

Actualmente el gobierno federal en Canadá no tiene propiedad directa de las instalaciones nucleares en Canadá. Sin embargo, tres empresas de servicios públicos, que son de propiedad exclusiva de gobiernos provinciales, operan instalaciones nucleares en Canadá. Todas estas instalaciones son plantas de energía nuclear. Ontario Power Generation, cuyo único accionista es la provincia de Ontario, opera dos plantas de energía nuclear en Ontario. New Brunswick Power, la principal compañía eléctrica de la provincia de New Brunswick opera una planta de energía nuclear. Hydro Quebec es la principal compañía eléctrica en Quebec y opera una planta de energía nuclear. Tanto Ontario Power Generation y New Brunswick Power tienen planes para una nueva central nuclear.

A.1.5.4 Manejo de Desechos

El enfoque de APM se desglosa en tres fases. La fase 1 es prepararse para el manejo de la central de combustible utilizado, utilizando programas de sensibilización de la opinión pública durante un periodo de 30 años. La fase 2 es la demostración tecnológica y de almacenamiento de la central. Esta fase demoraría 30 años y requiere de planes de tecnología para ser finalizada y para que la construcción vaya encaminada. La fase 3 es la contención a largo plazo, un proceso mediante el cual el combustible nuclear consumido se ha trasladado a un repositorio central para ser ubicado en un profundo almacén geológico en el escudo Canadiense. El aislamiento y la vigilancia tendrán una duración de por lo menos 60 años. El sitio puede ser diseñado para permitir el retiro de combustible nuclear gastado para su reprocesamiento (CERI 2008).

A.1.6 Role de la Industria Privada en Energía Nuclear

A.1.6.1 Suministro de Combustible

Las minas de uranio y las instalaciones de procesamiento en Canadá están en manos de privados. La propiedad de las actuales tres minas en producción, y sus molinos asociados son:

- McArthur River – Cameco y Areva Resources Canada (Areva). Mineral de la mina McArthur River se muele en la antigua mina de Key Lake la cual también es propiedad de Cameco y Areva.
- McLean Lake – Areva, Denison Mines Ltd., y OURD (Canadá) Co. Ltd.
- Rabitt Lake – Cameco

Cameco también posee y opera el refinamiento de uranio y las instalaciones de procesamiento.

A.1.6.2 Investigación y Desarrollo

Los miembros del CANDU Owners Group (COG) incluye cinco miembros Canadienses (AECL, Ontario Power Generation, Bruce Power, Hydro-Québec, New Brunswick Power) y seis miembros extranjeros – Argentina, Rumania, Pakistan, India, Corea del Sur y China, los cuales todos poseen unidades CANDU. El propósito del COG es el de proveer programas de cooperación, asistencia mutua e intercambio de información para el exitoso apoyo, desarrollo, operación, mantenimiento, y economía de la tecnología CANDU.

El programa de I+D del COG se encarga de temas de operación actuales y emergentes para dar apoyo a la seguridad, confianza, y la economía de operación de los reactores CANDU en las areas donde se han licensiado; canales de combustible; salud, seguridad y medioambiente; y química, materiales y componentes. Programas de investigación nuclear en la comunidad académica están estrechamente vinculados con los objetivos del COG. La interacción entre la industria y la parte académica está dividido en cuatro programas actuales de I+D: química, materiales y componentes; canales de combustible; seguridad y licenciamiento; y, por último, salud, seguridad y medioambiente (CERI 2008).

A.1.6.3 Propiedad

Actualmente Bruce Power es la única empresa privada que maneja reactores de potencia nuclear en Ontario Canadá. Bruce Power ha propuesto la construcción de una nueva instalación de energía nuclear en Alberta y ha anunciado un estudio de

factibilidad conjunta con la corona de utilidad Saskatchewan, SaskPower, para construir un reactor de energía nuclear en Saskatchewan.

A.1.6.4 Manejo de Desechos

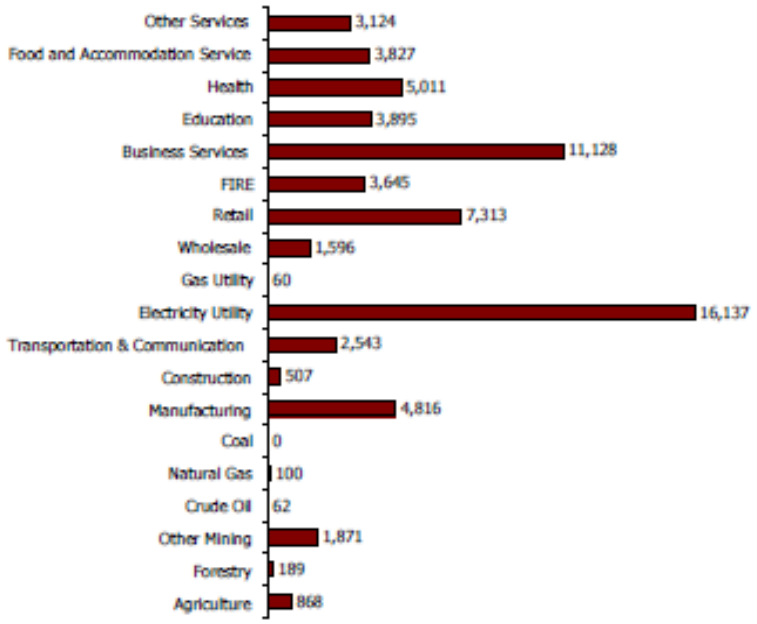
La organización del manejo de desechos nucleares (NWMO por sus siglas en inglés) fue creada en el año 2002 por Ontario Power Generation, Hydro-Québec y New Brunswick Power en conformidad con el Acuerdo de Desecho de Combustible Nuclear (NFWA por sus siglas en inglés) para asumir la responsabilidad por el manejo a largo plazo del combustible nuclear utilizado en Canadá.

La NFWA solicita que los propietarios de desechos de combustible nuclear establezcan fondos fiduciarios separados para financiar el manejo a largo plazo del combustible utilizado. Estos fondos fueron creados en el 2002. Contribuciones se realizan anualmente por los propietarios de los residuos y los estados financieros se publican en el sitio web de la NWMO.

A.1.7 Requerimientos de Recursos Humanos

El Instituto Canadiense de Investigación de Energía (2008) estima que en el año 2005 las operaciones de las centrales nucleares generaron 66,694 empleos de tiempo completo directos e indirectos en Canadá. La figura 4.3-1 presenta un desglose del empleo resultante de la operación de las centrales nucleares. El sector eléctrico (las centrales nucleares) proporcionaron aproximadamente un cuarto del total de los empleos.

Figura 2.2 Empleo directo e indirecto generado por la industria de energía nuclear en Canadá en el 2005



Fuente: CERI 2008

Con respecto a la CNSC la comisión tribunal cuenta con 7 miembros designados; el personal de la CNSC tiene más de 400 empleados, de los cuales la mayoría cuenta con alguna formación científica formal. Físicamente, la sede de la CNSC se encuentra en Ottawa; sin embargo, la CNSC posee oficinas en cada sitio donde exista una central nuclear en Canadá, así como cinco oficinas regionales en Calgary, Saskatoon, Mississauga, Ottawa y Laval (CNA 2007).

A.1.8 Seguridad y Salvaguardias

La CNSC es la encargada de regular las instalaciones nucleares nacionales y también se encarga de administrar el acuerdo de salvaguardia del país. El uranio de Canadá es vendido únicamente para generación eléctrica y las salvaguardias internacionales están para asegurar esto. Otros equipos nucleares y servicios son utilizados para motivos pacíficos solamente. La CNSC asiste a la OIEA para garantizar la seguridad nuclear al permitir a la organización el acceso a las instalaciones nucleares de Canadá y la instalación de equipos en los sitios. La CNSC periódicamente informa a la OIEA sobre el manejo de materiales nucleares en Canadá. La CNSC también administra un programa de I + D en apoyo de las salvaguardias del OIEA (WNA 2008).

Canadá es parte del Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP) como un estado libre de armas nucleares. Su acuerdo de salvaguardias en virtud del TNP entró en vigor en 1972 y el Protocolo Adicional en relación con este entró en vigor en 2000. Un acuerdo de salvaguardias bilaterales se requiere con cada socio comercial de la nación como una condición previa para el comercio. Este acuerdo pone requisitos adicionales sobre las naciones comerciales más allá de las del TNP y el OIEA. Canadá es también un miembro del Grupo de Suministradores Nucleares (WNA 2008).

A.1.9 Salud y Seguridad

A.1.9.1 Operaciones Normales

La Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC) es responsable por la regulación de todas las instalaciones nucleares y de todas las actividades nucleares en Canadá. Las regulaciones están basadas en las recomendaciones de la Comisión Internacional para la Protección Radiológica. El marco actualizado se beneficiará de los estándares internacionales y las mejores prácticas, incluyendo los estándares de seguridad nuclear definidos por el OIEA.

Bajo los auspicios del OIEA, la mejoría de la seguridad en el mundo entero se obtiene por medio del desarrollo y adopción de convenciones jurídicamente vinculantes. Desde el año 1986, cinco mayores convenciones fueron ratificadas en el área de la seguridad nuclear, de radiación, transporte y desechos:

- La Convención de Seguridad Nuclear
- La Convención de la Protección Física de Material Nuclear
- La Convención de la Notificación Temprana de Accidentes Nucleares
- La Convención para la Asistencia en Caso de Accidentes Nucleares o de Emergencia Radiológica
- La Convención Conjunta sobre la Gestión de Combustibles Gastados

A.1.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear

Sobre la base de una encuesta realizada en enero de 2008 (Ipsos-Reid 2008), poco menos de la mitad de los canadienses apoya la energía nuclear (47%). El apoyo a nivel

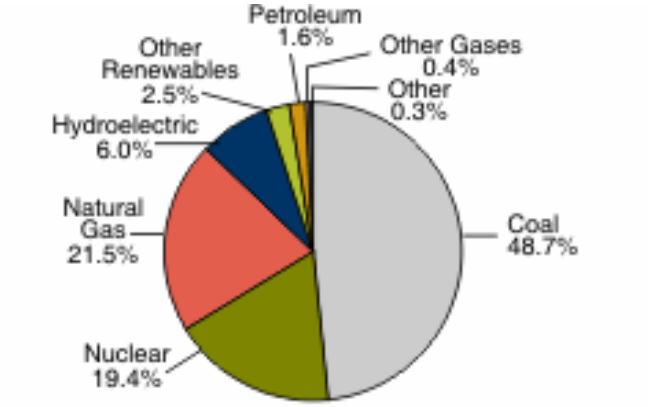
nacional ha aumentado en los últimos dos años en un 7% y un 12% desde el 2005. Del mismo modo, el apoyo a la modernización o renovación y nueva construcción también ha aumentado.

A.2 Estados Unidos

A.2.1 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética

En el año 2007, las plantas núcleo-eléctricas generan un poco menos del 20% del total de la electricidad generada en los Estados Unidos (ver figura A.2.1), mientras que las plantas de generación que utilizan carbón como combustible, generan casi la mitad. Los detalles del número de generadores, las capacidades nominales y capacidades promedio se pueden observar en la tabla A.2.1 (para el año 2006). En esta tabla se puede observar que las plantas de generación núcleo-eléctricas generan más de 1000 MW y su capacidad nominal representa el 10% de la capacidad total instalada en el país.

Figura A.2.1 Generación eléctrica de los EEUU por tipo de combustible en el 2007



From: Energy Information Administration (EIA) 2008. Energy in Brief – How is my electricity generated, delivered, and priced? http://tonto.eia.doe.gov/energy_in_brief/electricity.cfm Accessed September 2008.

Tabla A.2.1: Capacidad Instalada por Fuente de Energía, 2006 (Megawatts)

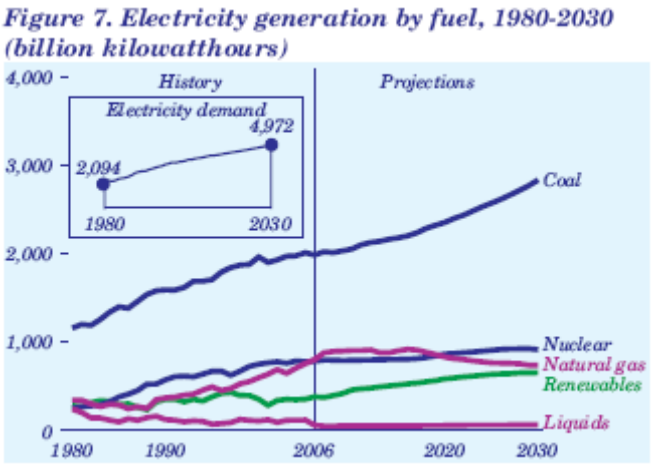
Fuente Energética	Número de Generadores	Capacidad Nominal de los Generadores	Capacidad Promedio	Porcentaje de Generación Sobre el Total
Carbón[1]	1,493	335,830	225	31
Petroleo[2]	3,744	64,318	17	6
Gas Natural[3]	5,470	442,945	81	41
Otros Gases[4]	105	2,563	24	0
Nuclear	104	105,585	1,015	10
Hidroeléctrica Convencional[5]	3,988	77,419	19	7
Otras Fuentes	1,823	26,470	15	2

Renovables[6]				
Generación por Bombeo	150	19,569	130	2
Otros[7]	47	976	21	0
Total	**16,924**	**1,075,677**	64	100

[1]Anracita, bituminoso, subbituminoso, lignita, desechos de carbón, y carbón sintético..
[2]Fuel oil destilado (todos los diesel y No. 1, No. 2, and No. 4 fuel oils), fuel oil residual (fuel oils No. 5 y No. 6), jet fuel, kerosene, coke de petróleo (convertido en petróleo líquido) y residuos de petróleo.
[3]Incluye un pequeño número de generadores que utilizan desechos como fuente energética.
[4]Gas propano, y otros gases derivados de los combustibles fósiles.
[5]La capacidad en algunas épocas del año puede exceder la capacidad nominal de los generadores hidroeléctricos.
[6]Madera, licor negro, otros desechos de la madera, desechos municipales, gas de vertederos, neumáticos, biomasa, geotérmico, solar, energía fotovoltáica, viento y otros.
[7]Baterias, químicos, hidrógeno, sulfuros y otros.
Source: Energy Information Administration, Form EIA-860, "Annual Electric Generator Report."
From: Energy Information Administration (EIA) 2008. Existing Capacity by Energy Source.
http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epa/epat2p2.html Accessed September 2008.

Con respecto a la demanda futura, se espera que la generación por carbón aumente de forma considerable hasta el año 2030 (ver Figura 2.7).

Figura A.2.2 Electricity Generation by Fuel, 1980 to 2030 (billones de kilowatthours)



From: Energy Information Administration of U.S. Department of Energy (EIA) 2008. Annual Energy Outlook 2008. DOE/EIA-0383(2008).

La Tabla 2.7 muestra una lista completa de las plantas de generación núcleo-eléctricas en operación en Estados Unidos.

Tabla A.2.2 Lista de Centrales en EE.UU.

Reactor	Tipo	Capacidad MW(e) Neta	Operador[a]	Fabricante del Reactor b	Fecha Construcción	Fecha de Conexión a la Red	Fecha de Inicio Operaciones Comerciales	NRC Code

Arkansas Nuclear-1	PWR	840	ENTERGY	B&W	01/10/1968	17/08/1974	19/12/1974	US-313
Arkansas Nuclear-2	PWR	1,000	ENTERGY	CE	01/07/1971	26/12/1978	26/03/1980	US-368
Beaver Valley-1	PWR	821	FIRSTENERGY	West	01/06/1970	14/06/1976	01/10/1976	US-334
Beaver Valley-2	PWR	831	FIRSTENERGY	West	01/05/1974	17/08/1987	17/11/1987	US-412
Braidwood-1	PWR	1,185	EXELON	West	01/08/1975	12/07/1987	29/07/1988	US-456
Braidwood-2	PWR	1,177	EXELON	West	01/08/1975	25/05/1988	17/10/1988	US-457
Browns Ferry-1	BWR	1,065	TVA	GE	01/05/1967	15/10/1973	01/08/1974	US-259
Browns Ferry-2	BWR	1,118	TVA	GE	01/05/1967	28/08/1974	01/03/1975	US-260
Browns Ferry-3	BWR	1,114	TVA	GE	01/07/1968	12/09/1976	01/03/1977	US-296
Brunswick-1	BWR	872	CPL	GE	01/09/1969	04/12/1976	18/03/1977	US-325
Brunswick-2	BWR	811	CPL	GE	01/09/1969	29/04/1975	03/11/1975	US-324
Byron-1	PWR	1,194	EXELON	West	01/04/1975	01/03/1985	16/09/1985	US-454
Byron-2	PWR	1,162	EXELON	West	01/04/1975	06/02/1987	21/08/1987	US-455
Callaway-1	PWR	1,137	AMERUE	West	01/09/1975	24/10/1984	19/12/1984	US-483
Calvert Cliffs-1	PWR	845	CONSTELL	CE	01/06/1968	03/01/1975	08/05/1975	US-317
Calvert Cliffs-2	PWR	858	CONSTELL	CE	01/06/1968	07/12/1976	01/04/1977	US-318
Catawba-1	PWR	1,129	DUKE	West	01/05/1974	22/01/1985	29/06/1985	US-413
Catawba-2	PWR	1,129	DUKE	West	01/05/1974	18/03/1986	19/08/1986	US-414
Clinton-1	BWR	1,026	AMERGEN	GE	01/10/1975	24/04/1987	24/11/1987	US-461
Columbia-2*	BWR	1,108	ENERGYNW	GE	01/08/1972	27/05/1984	13/12/1984	US-397
Comanche Peak-1	PWR	1,084	TXU	West	01/10/1974	24/04/1990	13/08/1990	US-445
Comanche Peak-2	PWR	1,124	TXU	West	01/10/1974	09/04/1993	03/08/1993	US-446
Cooper	BWR	757	NPPD	GE	01/06/1968	10/05/1974	01/07/1974	US-298
Crystal River-3	PWR	838	PROGRESS	B&W	01/06/1967	30/01/1977	13/03/1977	US-302
Davis Besse-1	PWR	873	FIRSTENERGY	B&W	01/09/1970	28/08/1977	31/07/1978	US-346
Diablo Canyon-1	PWR	1,087	PGEC	West	01/08/1968	11/11/1984	07/05/1985	US-275
Diablo Canyon-2	PWR	1,087	PGEC	West	01/12/1970	20/10/1985	13/03/1986	US-323
Donald Cook-1	PWR	1,016	IMPCO	West	01/03/1969	10/02/1975	27/08/1975	US-315
Donald Cook-2	PWR	1,077	IMPCO	West	01/03/1969	22/03/1978	01/07/1978	US-316
Dresden-2	BWR	850	EXELON	GE	01/01/1966	13/04/1970	09/06/1970	US-237
Dresden-3	BWR	850	EXELON	GE	01/10/1966	22/07/1971	16/11/1971	US-249
Duane Arnold-1	BWR	562	NUCMAN	GE	01/06/1970	19/05/1974	01/02/1975	US-331
Enrico Fermi-2	BWR	1,111	DETED	GE	01/05/1969	21/09/1986	23/01/1988	US-341
Farley-1	PWR	833	SOUTH	West	01/10/1970	18/08/1977	01/12/1977	US-348
Farley-2	PWR	842	SOUTH	West	01/10/1970	25/05/1981	30/07/1981	US-364
Fitzpatrick	BWR	825	ENTERGY	GE	01/09/1968	01/02/1975	28/07/1975	US-333
Fort Calhoun-1	PWR	476	OPPD	CE	01/06/1968	25/08/1973	20/06/1974	US-285
Grand Gulf-1	BWR	1,263	ENTERGY	GE	01/05/1974	20/10/1984	01/07/1985	US-416
H.B. Robinson-2	PWR	710	CPL	West	01/04/1967	26/09/1970	07/03/1971	US-261
Hatch-1	BWR	856	SOUTH	GE	01/09/1968	11/11/1974	31/12/1975	US-321

Hatch-2	BWR	883	SOUTH	GE	01/02/1972	22/09/1978	05/09/1979	US-366
Hope Creek-1	BWR	1,049	PSEG	GE	01/03/1976	01/08/1986	20/12/1986	US-354
Indian Point-2	PWR	965	ENTERGY	West	01/10/1966	26/06/1973	15/08/1974	US-247
Indian Point-3	PWR	985	ENTERGY	West	01/11/1968	27/04/1976	30/08/1976	US-286
Kewaunee	PWR	539	NUCMAN	West	01/08/1968	08/04/1974	16/06/1974	US-305
LaSalle-1	BWR	1,146	EXELON	GE	01/09/1973	04/09/1982	01/01/1984	US-373
LaSalle-2	BWR	1,147	EXELON	GE	01/10/1973	20/04/1984	19/10/1984	US-374
Limerick-1	BWR	1,134	EXELON	GE	01/04/1970	13/04/1985	01/02/1986	US-352
Limerick-2	BWR	1,134	EXELON	GE	01/04/1970	01/09/1989	08/01/1990	US-353
McGuire-1	PWR	1,100	DUKE	West	01/04/1971	12/09/1981	01/12/1981	US-369
McGuire-2	PWR	1,100	DUKE	West	01/04/1971	23/05/1983	01/03/1984	US-370
Millstone-2	PWR	866	DOMINION	CE	01/11/1969	09/11/1975	26/12/1975	US-336
Millstone-3	PWR	1,131	DOMINION	West	01/05/1974	12/02/1986	23/04/1986	US-423
Monticelllo	BWR	569	NUCMAN	GE	01/06/1967	05/03/1971	30/06/1971	US-263
Nine Mile Point-1	BWR	621	CONSTELL	GE	01/04/1965	09/11/1969	01/12/1969	US-220
Nine Mile Point-2	BWR	1,135	CONSTELL	GE	01/08/1975	08/08/1987	11/03/1988	US-410
North Anna-1	PWR	925	DOMINION	West	01/02/1971	17/04/1978	06/06/1978	US-338
North Anna-2	PWR	917	DOMINION	WEST	01/11/1970	25/08/1980	14/12/1980	US-339
Oconee-1	PWR	846	DUKE	B&W	01/11/1967	06/05/1973	15/07/1973	US-269
Oconee-2	PWR	846	DUKE	B&W	01/11/1967	05/12/1973	09/09/1974	US-270
Oconee-3	PWR	846	DUKE	B&W	01/11/1967	18/09/1974	16/12/1974	US-287
Oyster Creek	BWR	619	AMERGEN	GE	01/01/1964	23/09/1969	01/12/1969	US-219
Palisades	PWR	767	NUCMAN	CE	01/02/1967	31/12/1971	31/12/1971	US-255
Palo Verde-1	PWR	1,243	APS	CE	01/05/1976	10/06/1985	28/01/1986	US-528
Palo Verde-2	PWR	1,335	APS	CE	01/06/1976	20/05/1986	19/09/1986	US-529
Palo Verde-3	PWR	1,247	APS	CE	01/06/1976	28/11/1987	08/01/1988	US-530
Peach Bottom-2	BWR	1,112	EXELON	GE	01/01/1968	18/12/1974	05/07/1974	US-277
Peach Bottom-3	BWR	1,112	EXELON	GE	01/01/1968	01/09/1974	23/12/1974	US-278
Perry-1	BWR	1,235	FIRSTENERGY	GE	01/10/1974	19/12/1986	18/11/1987	US-440
Pilgrim-1	BWR	685	ENTERGY	GE	01/08/1968	19/07/1972	01/12/1972	US-293
Point Beach-1	PWR	512	NUCMAN	West	01/07/1967	06/11/1970	21/12/1970	US-266
Point Beach-2	PWR	514	NUCMAN	West	01/07/1968	02/08/1972	01/10/1972	US-301
Prairie Island-1	PWR	522	NUCMAN	West	01/05/1968	04/12/1973	16/12/1973	US-282
Prairie Island-2	PWR	522	NUCMAN	West	01/05/1969	21/12/1974	21/12/1974	US-306
Quad Cities-1	BWR	864	EXELON	GE	01/02/1967	12/04/1972	18/02/1973	US-254
Quad Cities-2	BWR	864	EXELON	GE	01/02/1967	23/05/1972	10/03/1973	US-265
R.E. Ginna	PWR	498	CONSTELL	West	01/04/1966	02/12/1969	01/07/1970	US-244
River Bend-1	BWR	978	ENTERGY	GE	01/03/1977	03/12/1985	16/06/1986	US-458
Salem-1	PWR	1,121	PSEG	West	01/01/1968	25/12/1976	30/06/1977	US-272
Salem-2	PWR	1,119	PSEG	West	01/01/1968	03/06/1981	13/10/1981	US-311
San Onofre-2	PWR	1,070	SCE	CE	01/03/1974	20/09/1982	08/08/1983	US-361

San Onofre-3	PWR	1,080	SCE	CE	01/03/1974	25/09/1983	01/04/1984	US-362
Seabrook-1	PWR	1,159	FPL	West	01/07/1976	29/05/1990	19/08/1990	US-443
Sequoyah-1	PWR	1,150	TVA	West	01/05/1970	22/07/1980	01/07/1981	US-327
Sequoyah-2	PWR	1,127	TVA	West	01/05/1970	23/12/1981	01/06/1982	US-328
Shearon Harris-1	PWR	900	CPL	West	01/01/1974	19/01/1987	02/05/1987	US-400
South Texas-1	PWR	1,280	STP	West	01/09/1975	30/03/1988	25/08/1988	US-498
South Texas-2	PWR	1,280	STP	West	01/09/1975	11/04/1989	19/06/1989	US-499
St. Lucie-1	PWR	839	FPL	CE	01/07/1970	07/05/1976	21/12/1976	US-335
St. Lucie-2	PWR	839	FPL	CE	01/06/1976	13/06/1986	08/08/1983	US-389
Surry-1	PWR	810	DOMINION	West	01/06/1968	04/07/1972	22/12/1972	US-280
Surry-2	PWR	815	DOMINION	West	01/06/1968	10/03/1973	01/05/1973	US-281
Susquehanna-1	BWR	1,105	PP&L	GE	01/11/1973	16/11/1982	08/06/1983	US-387
Susquehanna-2	BWR	1,140	PP&L	GE	01/11/1973	03/07/1984	12/12/1985	US-388
Three Mile Island-1	PWR	786	AMERGEN	B&W	01/05/1968	19/06/1974	02/09/1974	US-289
Turkey Point-3	PWR	693	FPL	West	01/04/1967	02/11/1972	14/12/1972	US-250
Turkey Point-4	PWR	693	FPL	West	01/04/1967	21/06/1973	07/09/1973	US-251
Vermont Yankee	BWR	506	ENTERGY	GE	01/12/1967	20/09/1972	30/11/1972	US-271
Virgil C. Summer- 1	PWR	966	SCEG	West	01/03/1973	16/11/1982	01/01/1984	US-395
Vogtle-1	PWR	1,152	SOUTH	West	01/08/1976	27/03/1987	01/06/1987	US-424
Vogtle-2	PWR	1,149	SOUTH	West	01/08/1976	10/04/1989	20/05/1989	US-425
Waterford-3	PWR	1,089	ENTERGY	CE	01/11/1974	18/03/1985	24/09/1985	US-382
Watts Bar-1	PWR	1,121	TVA	West	01/12/1972	06/02/1996	05/05/1996	US-390
Wolf Creek	PWR	1,165	WOLF	West	01/01/1977	12/06/1985	03/09/1985	US-482
Total		99,209						

Las licencias entregadas y en trámite para la explotación comercial de los reactores nucleares se presentan en la Tabla A.2.3. En esta tabla se puede observar el status de aprobación para los distintos sitios y las características fundamentales de cada uno.

Tabla A.2.3 Postulantes para Operar con Fines Comerciales Reactores Nucleares en Estados Unidos (2007)

Site	Sponsoring Firms	Reactor Design[1]	No. of Units	Capacity MW(e)	Application Submitted	Application Status
Bell Bend, PA	Pennsylvania Power and Light	EPR	1	1,600	Anticipated	Na
Bellefonte, AL	NuStart; Energy, TVA	AP 1000	2	2,234	10/30/2007	Under Review
Bruneau, ID	Alternate Energy Holding, Inc	EPR	1	1,600	Anticipated	Na
Callaway, MO	Ameren UE, UniStar Nuclear, LLC	EPR	1	1,600	Anticipated	Na
Calvert Cliffs, MD	UniStar, Nuclear, LLC, Constellation	EPR	1	1,600	7/31/2007	Under Review
Comanche Peak, TX	Energy Future Holdings [Luminant]	US-APWR	2	3,400	Anticipated	Na
Grand Gulf, MS	NuStart Energy, Entergy	ESBWR	1	1,520	2/27/2008	Under Review
Levy County, FL	Progress Energy	AP 1000	2	2,234	Anticipated	Na
Nine Mile Point, NY	UniStar Nuclear, Constellation	EPR	1	1,600	Anticipated	Na
North Anna, VA	Dominion	ESBWR	1	1,520	11/27/2007*	Under Review
River Bend, LA	Entergy	ESBWR	1	1,520	Anticipated	Na
Shearon Harris, NC	Progress Energy	AP 1000	2	2,234	2/19/2008	Under Review
South Texas Project , TX	NRG Energy, South Texas Project	ABWR	2	2,700	9/20/2007	Under Review
Victoria County, TX	Exelon Nuclear	ESBWR	2	3,040	Anticipated	Na
Turkey Point, FL	Florida Power & Light	AP 1000	2	2,234	Anticipated	Na
Virgil C. Summer, SC	Scana [South Carolina Electric and Gas], Santee Cooper	AP 1000	2	2,234	3/31/2008	Under Review*
Vogtle, GA	Southern Company [Georgia Power], Oglethorpe Power, Municipal Electric Authority of Georgia, City of Dalton	AP 1000	2	2,234	3/31/2008	Under Review
Watts Bar, TN [2]	TVA	PWR	1	1,167	Anticipated	Na
William States Lee III, SC	Duke Energy	AP 1000	2	2,234	12/13/2007	Under Review

[1] ABWR, Advanced Boiling Water Reactor; AP 1000, Advanced Passive 1000 reactor; EPR, European Power Reactor (only the acronym is used for the U.S. version); ESBWR, is interepre-as either European Simplified Boiling Reactor or, for U.S. version, Economic Simplified Boiling Water Reactor, and US-APWR, U.S. Advanced Pressurized Water Reactor
[2] Watts Bar was issued a construction Permit on 23 January 1973.
* An Early Site Permit (ESP) has also been filed. ESPs were approved by the Nuclear Regulatory Commission for Grand Gulf (on 4/5/2007) and North Anna (on 11/27/2007). Vogtle is under review.
Na= non-applicable.

Source: Energy Information Administration: "Status of Potential New Commercial Nuclear Reactors in the United States" July 2008 http://www.eia.doe.gov/cneaf/nuclear/page/nuc_reactors/reactsum.html

Cierre de Reactores Nucleares

Cerca de 30 reactores nucleares, tanto prototipos como de uso comercial, han sido cerrados en los Estados unidos. Algunos han sido completamente desmantelados y los sitios donde estaban instalados, han quedado habilitados para cualquier uso

El Instituto de Energía Nuclear (NEI) indica que de los $ 32 billones de dólares estimados para realizar el cierre de las plantas (a un promedio de $ 300 millones de dólares por planta), dos tercios ya han sido recolectados y el resto será recolectado en los próximos 20 años.

Source: World Nuclear Organization, "Nuclear Power in the USA". Dated October 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#decommissioning

Tabla A.2.3. Lista de Reactores Nucleares con sus Fechas de Finalización de Operaciones

Reactor	Estado	Tipo	Capacidad Neta MW(e)	Operador	Fecha de Otorgamiento de Licencia	Fecha de Cierre	Status
Big Rock Point	MI	BWR	67	Consumers Power Company	12/8/1962	8/29/1997	DECON
CVTR	SC	PHWR	17	Carolinas-Virginia Nuclear Power Assn.	12/18/1963	1/1/1967	SAFSTOR
Dresden 1	IL	BWR	197	Commonwealth Edison Company	4/15/1960	11/31/1978	SAFSTOR
Elk River	MN	BWR	22	Rural Cooperative Power Association	8/24/1963	2/1/1968	DECON
Fermi 1	MI	FBR	65	Detroit Edison Company	8/5/1966	11/29/1972	SAFSTOR
Fort St. Vrain	CO	HTGR	330	Public Service Company of Colorado	12/11/1976	8/29/1989	DECON
GE VBWR	CA	BWR	N/a	General Electric	8/31/1957	12/9/1963	SAFSTOR
Haddam Neck	CT	PWR	560	Connecticut Yankee Atomic Power Co.	8/7/1967	12/4/1996	DECON
Hallam	NE	SCGM	75	AEC/Consumers Public Power District [1]	[2]	[2]	[3]
Humboldt Bay 3	CA	BWR	63	Pacific Gas & Electric Company	4/18/1963	7/2/1976	SAFSTOR
Indian Point-1	NY	PWR	257	Consolidated Edison Company	9/16/1962	10/31/1974	SAFSTOR
La Crosse	WI	BWR	48	Dairyland Protective Cooperative	4/26/1968	4/30/1987	SAFSTOR
Maine Yankee	ME	PWR	860	Maine Yankee Atomic Power Co.	11/8/1972	8/1/1997	DECON
Millstone 1	CT	BWR	641	Northeast Nuclear Energy Company	11/29/1970	7/1/1998	SAFSTOR
N.S. Savannah	VA	PWR					SAFSTOR
Pathfinder *	SD	BWR	59	Northern States Power	7/25/1966	10/1/1967	SAFSTOR
Peach Bottom 1	PA	HTGR	40	Philadelphia Electric Company	1/27/1967	11/1/1974	SAFSTOR
Piqua	OH	OCM	11	Atomic Energy Commission	8/23/1962	1/1/1966	ENTOMB
Rancho Seco 1	CA	PWR	873	Sacramento Municipal Utility	10/13/1974	6/7/1989	DECON

				District			
San Onofre 1	CA	PWR	436	Southern California Edison	7/16/1967	11/30/1992	DECON
Saxton	PA	PWR	3	Saxton Experimental Nuclear Corporation	1/3/1967	1/5/1972	[4]
Shoreham	NY	BWR	820	Long Island Lighting Authority	1/8/1986	1/5/1989	[4]
Three Mile Island 2	PA	PWR	880	General Public Utilities	4/21/1978	3/28/1979	[5]
Trojan	OR	PWR	1,095	Portland General Electric Company	12/23/1975	11/9/1992	DECON
Yankee-Rowe	MA	PWR	167	Yankee Atomic Electric Company	12/24/1963	10/1/1991	DECON
Zion 1	IL	PWR	1,040	Commonwealth Edison Company	4/28/1973	1/1/1998	SAFSTOR
Zion 2	IL	PWR	1,040	Commonwealth Edison Company	12/26/1973	1/1/1998	SAFSTOR
Commonwealth of Puerto Rico							
BONUS		BWR	17	DOE/Puerto Rico Water Resources	8/14/1964	6/1/1968	ENTOMB

Fuente: Capacidad: Hallam plant, PRIS database, International Atomic Energy Agency; todas las otras, Nuclear Regulatory Commission

[1] Consumers Public Power District is the forerunner to the Nebraska Public Power District
[2] Plant operated from 1962 to 1964, prior to formation of Nuclear Regulatory Commission.
[3] Decommissioning under supervision of Department of Energy
[4] License Terminated
[5] According to NRC, unit 2 has been placed in post-defueling monitored storage until unit 1 ceases operation, at which time both units will be decomissioned.

From: Energy Information Adminstration, "Unique Nuclear Reactor Shutdown List, U.S. Nuclear Reactors" December 2007 (implied)
http://www.eia.doe.gov/cneaf/nuclear/page/nuc_reactors/shutdown.htm

A.2.2 Marco Jurídico

En Estados Unidos, el Gobierno Federal ha asumido la mayor responsabilidad en regular el uso de la energía nuclear. El documento fundamental del marco legislativo de los Estados Unidos es el "Atomic Energy Act" de 1954, un estatuto federal que regula la posesión y uso de material radioactivo y de las instalaciones que producen este material. A continuación se presentan los componentes principales del marco juridico:

- Atomic Energy Act de 1954 Este documento entrega un marco de referencia tanto para el desarrollo y la regulación de los usos de materiales radioactivos e instalaciones. Además, determina que el uso civil de materiales e instalaciones

nucleares debe ser concesionado a través del otorgamiento de una licencia y faculta a la Comisión Regulatoria Nuclear (NRC) a fiscalizar y multar a los distintos concesionarios en caso de que se vea amenazada la salud y la seguridad de la población o que exista un peligro para la propiedad privada o para la sociedad.

- "Energy Reorganization Act" de 1974. Este documento establece a la Comisión Regulatoria Nuclear (NRC) y establece que la Comisión de Energía Atómica (AEC) será la responsable del desarrollo y producción de armas nucleares y del desarrollo y de la generación de normas de seguridad para el uso civil de materiales radioactivos. Además, este documento divide algunas funciones, asignando al Departamento de Energía la responsabilidad por el desarrollo y producción de armas nucleares, promoción de la generación núcleo-eléctrica y otros trabajos relacionados con la energía nuclear y a la Comisión de Regulación Nuclear (NRC) la labor de regulación de operaciones civiles.
- "Reorganization Plans". El Plan de Reorganización N°3 de 1970 estableció la Agencia de Protección del Medioambiente (EPA) y le asignó la tarea de establecer estándares generales para la protección del medioambiente de materiales radioactivos. El Plan de Reorganización N°1 de 1980 empoderó las facultades administrativas y ejecutivas del director de la Comisión de Regulación Nuclear (NRC), particularmente en emergencias.
- "Nuclear Waste Policy Act" de 1982. Este documento establece las responsabilidades del Gobierno Federal y de las plantas generadoras sobre la disposición de un lugar para el almacenamiento definitivo de desechos con altos niveles radioactivos. Además, exige que las plantas generadoras cubran los costos del almacenamiento final de los residuos.
- "Low-Level Radioactive Waste Policy Amendments Act" de 1985. Este documento entrega a los estados la responsabilidad sobre la disposición final de material con bajos niveles de radioactividad generado en su territorio y autoriza a los mismos a instalar recintos de almacenamiento tanto para los desechos de su estado como para los de otros estados. Además, este documento indica que los lugares de almacenamiento serán regulador por la Comisión de Regulación Nuclear (NRC) o

por los estados que se hayan suscrito a acuerdos con este ente acorde a la sección 274 del documento "Atomic Energy Act". Este documento también determina estándares para determinar el nivel de radionúclidos presentes en una corriente de agua que no causen daños a la población

- "Uranium Mill Tailings Radiation Control Act" de 1978 Este documento establece programas de estabilización y control de trazas de Uranio y Torio producto del procesamiento del material, con el objetivo de prevenir y minimizar la difusión del Radón al medioambiente

- "Nuclear Non-Proliferation Act" de 1978 Este documento busca limitar la utilización de armar nucleares mediante el establecimiento de criterios de control de las exportaciones nucleares de Estados Unidos y mediante el fortalecimiento de sistemas de seguridad y control internacionales.

- "Administrative Procedure Act"(5 U.S.C. Capítulo 5 al 8) Esta es la norma principal con que se rigen las distintas agencias relacionadas a los temas nucleares. Su foco original era la creación de reglamentos y adjudicación de licencias y luego se extendió a permitir que los distintos actores relacionados a la energía nuclear puedan realizar peticiones o enmiendas a las normas y reglamentos impuestos previamente.

Esta norma ha sido enmendada varias veces y actualmente incorpora un amplio rango de procesos y actividades relacionadas al tema nuclear. Algunos de estos temas dicen relación con la libertad de acceso a la información, realización de las reuniones del comité de forma pública, entre otros

- "National Environmental Policy Act" Cada propuesta para una acción mayor a nivel federal que puede afectar la calidad de vida de las personas requiere, entre otros, un estudio de impacto ambiental y alternativas a la realización del proyecto en particular. Este documento además establece estándares y normas para la preparación de los estudios de impacto ambiental, considerando algunos elementos como la participación ciudadana.
- "Hazardous Materials Transportation Uniform Safety Act" de 1990. Establece las regulaciones para el transporte de material radioactivo

- "Omnibus Budget Reconciliation Act" de 1990.

Source: U.S. NRC, "Our Governing Legislation", de Febrero 2007

http://www.nrc.gov/about-nrc/governing-laws.html

A.2.3 Marco Institucional y Regulatorio

El gobierno federal (NRC y Ministerio de Energía) asume la responsabilidad principal en materias regulatorias nucleares. Hasta 1974, la Comisión de Energía Atómica (AEC) era la agencia matriz que cargaba con la responsabilidad de los proyectos de energía nuclear tanto para fines civiles como militares. En 1974 la AEC fue eliminada y la responsabilidad regulatoria se repartió entre dos agencias; la Comisión de Regulación Nuclear (NRC) y la Agencia de Administración de Investigación y Desarrollo de la Energía Nuclear (ERDA), que luego fue incorporada al departamento de energía.

Los gobiernos estatales también participaron en temas regulatorios, sobre todo en lo relacionado a planes de emergencia.

A.2.3.1 La Comisión de Regulación Nuclear (NRC)

La NRC fue formada en 1975 para regular los usos comerciales e institucionales de la energía nuclear, incluyendo las plantas generadoras. Bajo su responsabilidad está la protección a la salud y la seguridad de la población, Las tres funciones principales de la NRC son:

(1) Establecer estándares y regulaciones;

(2) Otorgar licencias para instalaciones nucleares y para usuarios de material radioactivo;

(3) Inspeccionar instalaciones y usuarios de material radioactivo para asegurar el cumplimiento de los requerimientos respectivos.

Estas funciones regulatorias se relacionan con las plantas nucleares y con el uso de material radioactivo para otros fines como los médicos, académicos, de investigación y prueba de equipos.

La NRC otorga licencias para todas las instalaciones nucleares con fines comerciales involucradas en el procesamiento y fabricación de mineral de Uranio en

reactores nucleares. Ha otorgado más de 100 licencias comerciales para plantas de generación núcleo-eléctrica y para otros usos.

La NRC tiene dos formas de otorgar las licencias para plantas de generación núcleo-eléctricas, a licencia normal (bajo la norma 10 CGR parte 50) y el proceso simplificado (bajo la norma 10 CFR parte 52).

El proceso de otorgamiento de licencias está estructurado en dos etapas. La primera contempla el permiso de construcción de una central núcleo-eléctrica y la segunda, el permiso de operación de la planta. El requerimiento del permiso de construcción considera cumplir con requerimientos de seguridad, medioambientales y de protección a la población. Una vez entregado el requerimiento a la NRC, el Comité de Seguridad de Reactores (ACRS) revisa los antecedentes y emite una opinión experta independiente.

La NRC también realiza una revisión ambiental del proyecto de construcción y prepara una declaración de impacto ambiental. Se publica un borrador para recibir comentarios de la opinión pública, para luego publicar la declaración definitiva considerando los elementos aportados por la opinión pública.

De forma separada, se deben explicitar las consideraciones de seguridad del proyecto, que son revisadas por el consejo de seguridad atómica (ASLB) quienes deben dar la aprobación en base a las condiciones de seguridad que garanticen la seguridad de la población.

En 1989, la NRC adoptó el proceso simplificado que incentiva el uso de un modelo estándar de declaración de impacto ambiental para la construcción de plantas y establece una licencia combinada para construcción y operación de plantas. Además, este proceso simplificado incorpora un sistema de aprobación temprana de lugares para la construcción de plantas y un mecanismo de resolución temprana de problemas y conflictos (antes del comienzo de la construcción).

Existe además otro proceso opcional que se llama Proceso de Certificación de Diseño que reduce el tiempo de desarrollo del proyecto de construcción, donde los proveedores de equipos pre-certifican sus equipos respectivos, evitando tener que

hacer este proceso en etapas posteriores. La Tabla A.2.4 muestra el estatus de los procesos de certificación de nuevos reactores en Estados Unidos.

Tablea A.2.4 Proceso de Certificación de Nuevos Reactores en estados Unidos

Tipo de Reactor	Proveedor (es)	Categoría	Estatus en NRC
System 80+	Westinghouse BNFL	PWR	Certificado
ABWR	GE, Toshiba, Hitachi	BWR	Certificado
AP600	Westinghouse BNFL	PWR	Certificado
AP1000	Westinghouse BNFL	PWR	Finalizando Certificación
ESBWR	GE	BWR	Pre-certificado
SWR-1000	Framatome ANP	BWR	Pre-certificado
ACR700	AECL	PHWR/PWR hybrid	Pre-certificado
PBMR	Eskom	HTGR	Pre-certificado
GT-MHR	General Atomic	HTGR	Pre-certificado
IRIS	Westinghouse BNFL	PWR	Pre-certificado
EPR	Framatome ANP	PWR	Pre-certificado
ACR1000	AECL	PHWR/PWR hybrid	No han postulado a licencia
4S	Toshiba	Sodium-cooled	No han postulado a licencia

Note: ESBWR, ACR700, and EPR vendors have indicated intentions to begin certification in the near future.

From: Energy Information Administration, New Reactor Designs, undated.
http://tonto.eia.doe.gov/FTPROOT/nuclear/nucenviss2.html

Las licencias para de las plantas núcleo-eléctricas se emiten por un periodo de 40 años. Las licencias de las plantas actualmente en operación, comenzaron a caducar a partir del año 2000. La NRC ha desarrollado un proceso para extender las licencias por un periodo adicional de 20 años. Ya ha sido aprobada, la renovación de licencias de un conjunto de reactores, y hay más solicitudes de extensión en desarrollo.

La licencia de las plantas núcleo-eléctricas pueden ser modificadas o actualizadas como resultado de experiencias de la misma planta o de otras. Cuando sea necesario, la comisión de regulación nuclear (NRC) puede imponer nuevas regulaciones, o exigir cambios en; los procedimientos de operación, o en los equipos, para mejorar la seguridad de las plantas en operación.

Además de otorgar licencias para las instalaciones, la NRC también licencia a las personas que operan los controles del reactor. Las licencias se dividen en dos categorías – operador de reactores y operador experimentado de reactores. La

segunda categoría es requerida para cargos de supervisión. Antes de que las licencias sean otorgadas, los operadores deben completar un programa de entrenamiento intensivo, llevado a cabo por las empresas de servicios públicos, y pasar los exámenes administrados por los examinadores de la NRC. Una vez licenciados, los operadores continúan recibiendo capacitación y son evaluados de forma periódica para mostrar que siguen estando capacitados para operar la planta.

Inspección

La comisión de regulación nuclear inspecciona todas las instalaciones licenciadas, para asegurar que sus actividades cumplen con las regulaciones de la comisión y con los términos de sus licencias. Estas inspecciones varían su alcance y frecuencia de acuerdo con los peligros relativos de las actividades autorizadas. Durante el periodo de construcción, y vida operativa de la planta núcleo-eléctrica, varias inspecciones, son realizadas cada año.

El núcleo del programa de inspecciones, de la comisión de regulación nuclear, es llevado a cabo por inspectores residentes, para las plantas núcleo-eléctricas y para ciertas instalaciones del ciclo de combustible, donde en cada sitio, es asignado al menos uno de los inspectores. Los especialistas de inspección, con base en las oficinas regionales, revisan la seguridad de la planta, los planes de emergencia, las protecciones de radiación, el monitoreo del medio ambiente, el control periódico de los equipos y sistemas, la protección contra incendios, las actividades de construcción, y otras áreas más especializadas.

En el curso del año, los especialistas de la comisión de regulación nuclear, pueden conducir entre 10 y 25 inspecciones de rutina a cada planta núcleo-eléctrica y varias inspecciones en las instalaciones de combustible, dependiendo de las actividades de éstas y los problemas que puedan ocurrir. Los equipos especiales de inspección pueden enfocarse en actividades específicas, como la mantención o la seguridad; o puede ser enviado a buscar un problema específico de operación, o un accidente, a las instalaciones.

Si existen dudas serias, sobre la seguridad de las actividades licenciadas por la comisión de regulación nuclear, la comisión puede emitir órdenes para que estas

actividades sean paradas o que un individuo sea removido de los trabajos que envuelvan materiales licenciados por la comisión. La comisión de regulación nuclear también puede, modificar, suspender o revocar una licencia. Las actividades autorizadas para ser paradas, pueden no ser reanudadas, hasta que la seguridad y los problemas de gestión sean corregidos, y hasta que la comisión de regulación nuclear apruebe la reanudación del trabajo.

El desempeño de cada planta núcleo-eléctrica, operativa, es evaluado de forma trimestral, usando los resultados de las inspecciones de la comisión de regulación nuclear y las medidas de desempeño – datos que supervisan la eficacia de los sistemas de seguridad y procedimientos de la planta. Una vez al año, la NRC prepara un reporte de desempeño más extenso de cada planta y se analiza la evaluación con el licenciatario en una reunión abierta al público.

Fuente: Nuclear Regulatory Commission. "NRC -- Regulator of Nuclear Safety (NUREG/BR-0164, Rev. 4)"

A.2.3.2 Departamento de energía

El departamento de energía (DOE) fomenta la seguridad económica y energética de los Estados Unidos; promueve la innovación científica y tecnológica en el apoyo de esa misión, y asegura la limpieza medio ambiental de los complejos de armas nucleares.

Conforme al acta de energía atómica de 1954, un solo organismo, la comisión de energía atómica, tenía la responsabilidad por el desarrollo y producción de armas nucleares, y por la regulación del desarrollo y seguridad de otros usos civiles del material nuclear. En el acta de 1974, estas funciones fueron divididas, asignando a una agencia, ahora el departamento de energía, la responsabilidad por el desarrollo y producción de armas nucleares, la promoción de la energía núcleo-eléctrica, la responsabilidad por otros usos asociados de energía, y la regulación de las instalaciones y las aplicaciones militares de material nuclear. Las actividades conducidas por el departamento de energía, no están sujetas a la regulación de la NRC, salvo situaciones específicas provistas por los estatutos.

A.2.3.3 Departamento de transporte

El departamento de transporte (DOT) y la NRC comparten la responsabilidad federal por la seguridad del transporte de material radioactivo.

El envío de material radioactivo está sujeto a las regulaciones 49CFR parte 171 de 180 del departamento de transporte. Estas regulaciones incluyen los requerimientos de embalaje, etiquetado y marcado de paquetes, marcado de vehículos, el entrenamiento y desempeño del portador, la información de las respuestas de emergencia, y los documentos de ruta y transporte.

A.2.3.4 Departamento del trabajo

El departamento del trabajo (DOT) tiene la responsabilidad total por la seguridad y bienestar de los trabajadores.

A.2.3.5 Agencia de protección ambiental

La agencia de protección ambiental (EPA) asume toda la responsabilidad por la calidad ambiental de los Estados Unidos. La EPA emite los estándares y guías, de los límites de exposición humana a la radiación. La EPA trabaja con el público, la industria, el estado y otras agencias del gobierno, para informar a la gente sobre los riesgos de la radiación, y promover acciones para reducir la exposición humana. La EPA mide los niveles de radiación ambiental y evalúa los efectos de la radiación en las personas y el ambiente. La EPA está autorizada, también, para establecer normas para la disposición de desechos radioactivos.

Dentro de la EPA, la oficina de radiación y aire interior, tiene autorización específica para establecer estándares medio ambientales generales, aplicables a la liberación de radiación en el ambiente, y promulgar reglas para restringir la emisión de elementos peligrosos dentro de la atmósfera. Provee asistencia técnica a las agencias radiológicas, estableciendo una vigilancia y el sistema de inspección para medir niveles de radiación en el ambiente. La RNC es responsable de promulgar las reglas para implementar los estándares de la EPA en las licencias entregadas por la NRC. (Panorama general OECD)

A.2.4 Seguridad del suministro de combustible

A.2.4.1 Dentro del país

Todas las actividades comerciales del ciclo del combustible nuclear, se llevan a cabo en los Estados Unidos, con la excepción del reprocesamiento de combustible gastado, que las políticas estadounidenses prohíben. Una reexaminación de reprocesamiento fue incluida en las políticas nacionales de energía del 2001, aunque ningún compromiso fue hecho en ésta. Cada etapa del ciclo del combustible, está sujeta a la competencia y suministro de fuentes internacionales, que en muchos casos dominan la etapa. En el presente, el suministro de combustible nuclear de los Estados Unidos, es sumamente dependiente del concentrado de uranio importado, de la conversión del uranio y del enriquecimiento. Prácticamente, todos los requerimientos de fabricación de combustible se cumplen con las fuentes domesticas.

Fuente: Nuclear Energy Agency. "United States of America" Updated June 2007.

http://www.nea.fr/html/general/profiles/usa.html#rwm (note aqua highlighted in this section also from this source).

Producción de Uranio

Los Estados Unidos tenían 342.000 toneladas de Uranio (razonablemente asegurada sumando los recursos deducidos) en el 2005. Desde ese momento, el gasto en exploración fue más que duplicado entre 2006 y 2007 con 50,3 millones de dólares.

En los 50s, los Estados Unidos tenían una gran cantidad de minas de uranio, promovidas por los subsidios federales. La producción máxima desde el año 1970, fue 16.800 toneladas de uranio en 1980, cuando habían más de 250 minas en operación. Este número cayó bruscamente a 50 en 1984 cuando se produjeron 5.700 toneladas de uranio y ha continuado decayendo hasta el 2000, donde la mayor parte de los requerimientos estadounidenses de uranio, son importados. Para el 2003 había sólo 2 minas de uranio operando, y que producen poco menos de 1000 toneladas de uranio por año.

Recientemente, la gran parte de la producción estadounidense ha sido de Nuevo México y Wyoming. Los recursos conocidos son 167.000 t U_3O_8 en Wyoming, 155.000 t

en Nuevo México, 2.000 t en Texas y alrededor de 50.000 t en Utah, Colorado y Arizona, tasada en U$50/lb. La producción potencial es aproximadamente un 45% a través de lixiviación in situ y 55% por extracción convencional.

Tabla A.2.5 Minas y otras instalaciones de producción de uranio estadounidenses

	ISL mine	Mill	Estado	Capacidad anual
Cogema Mining Inc (Areva)	Christiansen Ranch, Wy		Christiansen Ranch	250 tU
Power Resources Inc (Cameco)	Smith Ranch - Highland, Wy		En operación	2100 tU
Cameco Corporation	Crow Butte, Neb		En operación	385 tU
Uranium Resources Inc	Vasquez, Tx		En operación	310 tU
	Kingsville Dome, Tx		En operación	385 tU
Mestena Uranium	Alta Mesa, Tx		En operación	385 tU
Uranium Energy Corp	Goliard, Tx		Con aprobación previa	?
Hydro Resources Inc	Church Rock, NM		En construcción *	385 tU
	Crownpoint, NM		En construcción *	385 tU
South Texas Mining	La Palangana, Tx	Hobson, Tx	En construcción *	385 tU
Cotter Corp		Canon City, Co	En espera	
Denison		White Mesa, Ut	En operación	
		Sweetwater, Wy	En espera	
Uranium One		Shootaring Canyon, Ut	Incio en 2008	
Energy Fuels Resource Corp		Prion Ridge, Co	En desarrollo	

* partially permitted

Fuente: World Nuclear Organization, “Nuclear Power in the USA”. Fecha Octobre 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#mining

Tabla A.2.6, Resumen estadístico de las actividades de exploración, desarrollo y producción de las minas para el periodo 1993-2007.

Items	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	E2003	2004	2005	2006	2007
Exploración y desarrollo															
Superficie de perforación (millones de pies)	1.1	0.7	1.3	3.0	4.9	4.6	2.5	1.0	0.7	W	W	1.2	1.7	2.7	5.1
Gastos de perforación (millones de dólares)[1]	5.7	1.1	2.6	7.2	20.0	18.1	7.9	5.6	2.7	W	W	10.6	18.1	40.1	67.5
Producción minera de uranio															
(millones de libras U_3O_8)	2.1	2.5	3.5	4.7	4.7	4.8	4.5	3.1	2.6	2.4	2.2	2.5	3.0	4.7	4.5
Producción de concentrado de uranio															
(millones de libras U_3O_8)	3.1	3.4	6.0	6.3	5.6	4.7	4.6	4.0	2.6	2.3	2.0	2.3	2.7	4.1	4.5
Envíos de concentrado de uranio															
(millones de libras U_3O_8)	3.4	6.3	5.5	6.0	5.8	4.9	5.5	3.2	2.2	3.8	1.6	2.3	2.7	3.8	4.0
Empleo															
(personas-año)	871	980	1,107	1,118	1,097	1,120	848	627	423	426	321	420	648	755	1,231

[1] Los gastos son en dólares nominales de los Estados Unidos.
E = Datos estimados.
W = Datos retenidos para evitar la divulgación de datos de la empresa.
Nota: Los montos anuales de producción y envío fueron estimados por redondeo en 200.000 libras para evitar la divulgación de los datos de la empresa.
Fuente: Energy Information Administration: 1993-2002-Uranium Industry Annual 2002 (May 2003), Table H1 and Table 2. 2003-2007-Form EIA-851A, "Domestic Uranium Production Report" (2003-2007).

Fuente: http://www.eia.doe.gov/cneaf/nuclear/dupr/usummary.html

(Energy Information Administration)

La producción de uranio de One mill (White Mesa, Utah) y la operación de cinco ISL totalizo 1.583t de uranio (1.866 t U_3O_8) en 2006, y 1.748 t de uranio (2.061t U_3O_8) en 2007 (Energy Information Administración (EIA) Mayo 2008).

Conversión de Uranio

La capacidad de conversión de la planta Honeywell-ConverDyn Metropolis es de 14.000 tU/año. Otras fuentes de servicios de conversión importados, incluyen Canada y Rusia.

Enriquecimiento de Uranio

Para el enriquecimiento, los 104 reactores operativos en los Estados Unidos, requieren 12,7 millones SWU por año, casi la mitad, es actualmente uranio de alto enriquecimiento Ruso. Los servicios de enriquecimiento son también importados de instalaciones de Reino Unido, Francia, Alemania, y Holanda.

Hay una capacidad de 8 millones de SWU/año en la planta de la Corporación de enriquecimiento de los Estados Unidos (USEC) en Paducah, Kentucky – los restos de una de las dos plantas comisionadas a mediados de los años 50. Estas representaron la mayor inversión del gobierno de los Estados Unidos en la industria nuclear hasta la privatización de la USEC en 1998. La planta de Paducah tiene previsto su cierre para el 2012, si su reemplazo en Piketon, Ohio esta lista según calendario.

La instalación nacional de enriquecimiento, es la mayor planta de enriquecimiento por centrifugado, y está en construcción en Eunice, Nuevo México. Esta planta de 1,5 billones de dólares usa la sexta generación de la tecnología europea, Urenco, y es total propiedad de la misma. El apoyo de las empresas públicas ha sido crucial en la persuasión de la NRC, que en el futuro requerirá una capacidad de enriquecimiento para los Estados Unidos mayor a la provista y prevista por la USEC. Se espera que la primera producción sea para el 2008, y tenga una capacidad máxima de 3 millones de SWU/año que serán alcanzados el 2013. La nueva planta será un paso hacia adelante en la suscripción estadounidense para abastecer su nueva capacidad de generación nuclear y para asegurar el suministro de combustible, con una flexibilidad de operación que permita un mayor aporte de energía para producir más combustible desde la misma alimentación de uranio natural si es requerido.

En Abril de 2007 la NRC licenció la construcción y operación de la Planta centrifugadora americana USEC's en Pikenton, Ohio. Está previsto que la planta completa, comience su operación comercial el último trimestre del 2010, con cerca de 1 millon de SWU, y un año más tarde, alcance su capacidad máxima de 3,8 millones de SWU para finales del 2012. Ésta, utilizará sólo el 5% de la energía de la vieja planta de difusión a la cual reemplaza. La licencia autoriza el enriquecimiento de 7 millones de SWU/año de hasta 10% de U-235, cuando los niveles normales hoy son sólo del 5%, lo

cual es una seria limitación para que la combustión nuclear del combustible de la planta, aumente.

A mediados del 2007, Areva Inc anunció que también proponía construir una planta centrifugadora de 2 billones de dólares con una capacidad de 3 millones de SWU/año en los Estados Unidos, para suministrar los servicios domésticos de enriquecimiento. Se espera, presente una solicitud de licencia a la NRC durante el 2008, para esta instalación de enriquecimiento en Eagle Rock, comenzando a operar en el 2014, y aumentando su producción hasta su máxima capacidad en el año 2019. Esta será una versión más pequeña de la nueva planta francesa de Areva y será construida en Idaho Falls, cerca del laboratorio nacional del departamento de energía en Idaho.

Fuente: World Nuclear Association, "Nuclear Power in the USA", fecha: Octubre 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#enrichment

Fabricación de combustible

La fabricación de combustible para los reactores de agua liviana se realiza en seis plantas operadas por Westinghouse, Areva NC y GEH, con una capacidad total superior a 4000t/año. Donde parte de la producción es exportada a Japón.

Fuente: World Nuclear Association, "Nuclear Power in the USA", fecha: Octubre 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#enrichment

Las Fuentes militares de Uranio

El gobierno de los Estados Unidos ha declarado que 174 toneladas de uranio militar de alto enriquecimiento (HEU) estén de sobra y disponibles para la producción de energía civil. En un inicio, esto, ha sido hecho por los servicios de combustible nuclear empobrecido de Tennessee, donde el primer combustible fabricado ha sido enviado a las plantas de la TVA (Autoridad del valle de Tennessee).

En el 2008 la Administración nacional de seguridad nuclear (NNSA), del departamento de energía (DOE), negociaba con la TVA, la liberación adicional de 21

toneladas de uranio de alto enriquecimiento en el marco del programa, que produciría unas 250 toneladas de uranio de poco enriquecimiento, parte del cual podría ser vendido a otras empresas del servicio público.

En Junio del 2007, la NNSA adjudico contratos a los servicios internacionales de combustible nuclear de Wesdyne, para obtener 17,4 toneladas de uranio de alto enriquecimiento de la desmantelación de ovijas nucleares, como parte de un nuevo programa confiable de suministro internacional de combustible. La NFS diluirá el material en Tennessee para producir alrededor de 290 toneladas de uranio de bajo enriquecimiento (4,95% U-235) para el 2010.

En el año 2005, la NNSA anunció que confiaba alrededor de 40 toneladas de uranio de alto enriqucimiento, fuera de especificación, al programa de mezclado de uranio de bajo enriquecimiento (BLEU). Y que este material sería usado por la TVA.

El gobierno de los Estados Unidos ha acordado también, disponer 34 toneladas de plutonio de armamento para el 2014, para incorporarlo (con el uranio agotado) en la mezcla del óxido de combustible. Duke Energy ha propuesto su reactor nuclear de potencia, Catawba -1 para quemar el combustible de óxido mixto (MOX) que incorpora este plutonio de armamento, y el primero de cuatro montajes de pruebas (fabricado en Francia) está ahora generando energía. Si la prueba tiene éxito, la utilización de MOX entre el 20–40% en los núcleos de los reactores Catawba y McGuire podría comenzar alrededor del 2010, usando el combustible fabricado en los Estados Unidos a partir de los excedentes del plutonio de armas nucleares. Para esto, la NRC autorizó, la construcción de la nueva planta del DOE, en el Rio Savannah, situado al sur de Carolina del sur, en los inicios del año 2005, pero no encontró inversiones disponibles en el momento. Su construcción comenzó en Agosto del año 2007. Esta siendo construida por la Shaw Areva MOX services bajo un contrato de 2,7 billones de dólares con la Administración nacional de seguridad nuclear, del departamento de energía, la que será la propietaria de la planta. (La mayoría de las plantas de MOX usan plutonio fresco que abarca un tercio de los isotopos no fisibles del plutonio)

El plutonio para armamento fue utilizado en pruebas de MOX en el reactor prototipo de Saxton, a mitad de los sesenta, y algo más fue utilizado en otras plantas de los Estados Unidos antes de 1977.

Desde: World Nuclear Association, “Nuclear Power in the USA”, dated October 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#military

A.2.4.2 Externo

En el presente, las fuentes de combustible nuclear en los Estados Unidos dependen de la importación de uranio concentrado y de su conversión y enriquecimiento.

A pesar de la exploración y desarrollo minero de los Estados Unidos en 2007, menos del 10% del uranio adquirido para uso civil en las plantas núcleo-eléctricas, fue de origen estadounidense (véase Tabla A.2.7.). Canadá es la principal fuente del concentrado importado, pero también proviene de Australia, Rusia, Kazakhstan, Uzbekistan, Namibia, y algunos lugares adicionales.

Tabla A.2.7 Uranio adquirido por los propietarios y operadores de reactores civiles de energía nuclear, 1994-2007
(Millones de libras de U_3O_8 Equivalentes)

Delivery Year	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Total Purchased	**38.3**	**43.4**	**47.3**	**42.0**	**42.7**	**47.9**	**51.8**	**55.4**	**52.7**	**56.6**	**64.1**	**65.7**	**66.5**	**51.0**
Adquirido por productores estadounidenses	5.4	5.3	5.8	5.7	6.5	5.2	3.6	2.3	1.5	0.6	0.0	W	0.0	0.0
Adquirido por intermediarios y comerciantes estadounidenses	15.3	16.2	13.3	9.9	10.5	10.4	9.1	11.7	13.4	10.5	13.2	10.4	13.9	9.8
Adquiridos por otros propietarios y operadores de reactores civiles de energía nuclear, otros proveedores, y por el gobierno de los Estados Unidos (para el 2007)[1]	1.1	0.6	1.9	3.0	4.5	5.6	8.8	11.4	5.7	8.3	12.2	W	12.6	7.6
Adquirido por proveedores extranjeros	16.5	21.4	26.4	23.4	21.3	26.8	30.4	30.0	32.2	37.2	38.7	39.4	40.0	33.5
Uranio de origen estadounidense	**7.7**	**5.2**	**8.3**	**8.1**	**7.2**	**11.4**	**13.3**	**13.2**	**6.2**	**10.2**	**12.3**	**11.0**	**10.8**	**4.0**
Uranio de origen extranjero	**30.6**	**38.2**	**39.0**	**33.9**	**35.6**	**36.5**	**38.6**	**42.2**	**46.5**	**46.4**	**51.8**	**54.7**	**55.7**	**47.0**
Contratos spot [2]	**8.5**	**13.6**	**9.1**	**5.5**	**7.8**	**8.0**	**10.4**	**14.4**	**8.6**	**8.2**	**9.2**	**6.9**	**6.3**	**6.6**
Contratos de corto, medio y largo plazo [3]	**29.8**	**29.8**	**38.3**	**36.5**	**34.9**	**40.0**	**39.1**	**40.0**	**41.4**	**46.7**	**53.3**	**58.8**	**59.4**	**43.7**

Casi la mitad del uranio usado en las plantas nucleares de los Estados Unidos viene actualmente del uranio de grado militar de las armas rusas, empobrecido en Rusia. Bajo este programa, hasta ahora (inicios del 2008) 315 toneladas del uranio de alto enriquecimiento han sido convertidas en casi 10.000 toneladas de uranio de bajo enriquecimiento para combustible de reactores, representando 60 millones de SWU de enriquecimiento y alrededor de 13.000 ojivas nucleares, a un costo de 5,1 billones de dólares estadounidenses (pagado por los consumidores).

A.2.5 Rol del gobierno en la energía nuclear

A.2.5.1 Suministro de combustible

El gobierno de los Estados Unidos participa en el suministro de combustible por medio de un programa conducido por el DOE (Departamento de Energía) y del NNSA (Administración Nacional de la Seguridad Nuclear, en el cual alto nivel de enriquecimiento de uranio para uso militar ha sido declarado excedente y está disponible para aplicaciones civiles.

El gobierno de los Estados Unidos no es propietario ni operador de ninguna mina de uranio, molienda ni producción de combustible relacionados con la producción de energía nuclear para uso civil.

A.2.5.2 Investigación y desarrollo

Universidades y centros de formación superior desempeñan un rol muy importante en la investigación y desarrollo nuclear. Estas instituciones reciben subvenciones y contratos de las agencias federales que financian las investigaciones. Actualmente, unas pocas, asumen la responsabilidad total por la operación de los laboratorios propios del gobierno. Algunas universidades también operan reactores de investigación de baja potencia, licenciados por la NRC.

El sector privado ha creado algunos grupos de investigación como el Instituto de investigación de energía eléctrica (EPRI) el cual conduce algunas investigaciones sin fines de lucro. Algunas corporaciones operan los laboratorios de propiedad del gobierno a través de contratos. (Resumen de países de la OCED)

El DOE conduce y apoya un conjunto extenso de actividades relacionadas con el ciclo de combustible de la fisión y la fusión, incluyendo investigación, desarrollo y demostraciones; entrenamiento y educación, así como la transferencia de tecnología en las siguientes áreas:

- Producción, transformación y utilización de tecnologías
- Impactos medio ambientales y aspectos biomédicos, físicos y de seguridad de la ciencia relacionada con la producción de energía nuclear.
- Investigación en física nuclear fundamental relacionada con la aplicación de tecnología
- Gestión de residuos radiactivos de alta intensidad y del combustible gastado, y soporte al programa de bajo nivel de residuos.
- Esfuerzos internacionales para garantizar la seguridad nuclear, impedir la proliferación nuclear y asegurar el suministro de energía estable.
- El transporte seguro de los materiales radioactivos (panorama general OCDE)

En el 2005 un número de investigaciones del programa nuclear se trasladó al Laboratorio nacional de Idaho (INL) que fue formado de las dos entidades existentes en el mismo lugar, El laboratorio de ingeniería y medio ambiente de Idaho (INEEL) y el Laboratorio nacional de Argonne Oeste (ANL-W). En el lugar trabajan más de 6.000 trabajadores.

El INL se enfocará en los sistemas avanzados de energía nuclear, de la próxima generación, para producción de energía e hidrógeno a gran escala. Conducirá la participación de los Estados Unidos en el cuarto programa internacional de generación, y el desarrollo de las plantas de nucleares de la próxima generación de los Estados Unidos (NGNP) acorde a éste. En el 2005 se autorizaron 1,25 billones de dólares para el NGNP, con la capacidad de co-generar hidrógeno.

El INL también juega un rol importante con la Oficina civil de gestión de residuos radioactivos en el desarrollo de procedimiento de alto nivel para la disposición de los residuos en Yucca Mountain.

El INEEL se estableció en 1949 como la Estación Nacional de prueba de reactores y por muchos años tuvo la mayor concentración de reactores nucleares en el mundo – 52

tipos diferentes de reactores fueron desarrollados y probados ahí. ANL-W fue el sitio de pruebas para la investigación de la Universidad de Chicago, y ha trabajado estrechamente con el INEEL. Son también desarrollados acá, los sistemas de potencia espaciales de la NASA. Y todo el trabajo se realiza bajo los auspicios del DOE.

Varios sitios del laboratorio del DOE han dejado desechos que requieren de limpieza, es por eso, que hay programas en el sitio para realizarla. La mayor limpieza está en curso en el INEEL y se espera esté completa para el año 2012.

Bajo la iniciativa de hidrógeno nuclear, el departamento de energía ha seleccionado dos equipos para investigar la viabilidad de producir hidrógeno usando la energía de los reactores existentes. La fase siguiente consistirá en la demostración. Un equipo liderado por las Investigaciones Globales de GE buscará en la técnica de la electrólisis alcalina y el otro equipo, liderado por la Aplicación de transporte eléctrico, seguirá utilizando la electrólisis con membranas de intercambio de protones, sobre la base de una planta piloto de Arizona que produce 212 m^3 por día.

Relacionado con esto, la Universidad de Texas ha aprobado un plan para construir un reactor de alta temperatura de 500 millones de dólares en el campus Andrews, basado en el reactor atómico general de helio modular (MHR) con la participación del Laboratorio Nacional de Sandia del DOE. El año 2012 es la fecha prevista de finalización para el entrenamiento y prueba del reactor de investigación de alta temperatura.

La Administración de información de energía de los Estados Unidos (EIA) publicó un análisis de los subsidios y aportes a investigación y desarrollo en energía, entregados por el gobierno, totalizaron 16,6 billones de dólares - doblando el nivel de 1999. De esto, 6,75 billones de dólares fueron destinados a la producción de electricidad, y 6 billones de dólares, se dividieron entre la investigación y desarrollo, y los subsidios. Aparte de la transmisión y distribución (875 millones de dólares), el balance fue 1,55 billones de dólares para investigación y desarrollo en anticipación de beneficios futuros y 3,55 billones de dólares en subsidios para la producción actual. De los 1,55 billones de dólares fueron 922 millones de dólares para la energía nuclear, 522 millones de dólares para el carbón y 108 millones de dólares para energías renovables – que

actualmente aportan el 19,4%, 49% y 2,5% (Aparte de la hidro) respectivamente en la matriz energética de los Estados Unidos. El fondo de investigación y desarrollo nuclear, se compone por 319 millones de dólares para el diseño de nuevas plantas y para impedir la proliferación en el ciclo de combustible, 350 millones de dólares para la limpieza los sitios de energía nuclear y de investigación, y 253 millones de dólares para la instalación y gestión de Idaho. Dos tercios del fondo de investigación y desarrollo del carbón, son para programas de carbón limpio. Los 3,55 billones de dólares para subsidios son por medio de créditos fiscales, con la mayor parte, para el carbón sintético combustible, para la reducción de emisiones. La energía nuclear recibió 199 millones de dólares y las energías renovables 724 millones de dólares (0.025 centavos/kWh y 0.71 cenvtavos/kWh respectivamente).

Fuente: World Nuclear Association, "Nuclear Power in the USA", con fecha de octubre 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#govtRD

Reprocesamiento del combustible utilizado

A pesar que la política de los Estados Unidos prohíbe el reprocesamiento del combustible nuclear, los nuevos proyectos de ley de energía en 2005 reviven explícitamente estas perspectivas. En particular la Iniciativa del ciclo de combustible avanzado del departamento de energía (DOE) recibirá 85 millones de dólares para el desarrollo de tecnologías del ciclo de combustible de reactores de cuarta generación incluyendo el reprocesamiento y el uso de reactores de neutrones rápidos para la destrucción de los componentes y desechos de larga vida.

A parte de la experiencia militar con combustibles metálicos, los Estados Unidos tiene algo de experiencia con el reprocesamiento de óxidos de combustible, en la pequeña planta West Valley NY operada entre 1966 -72, y en una planta de 1500 t/año en Barnwell SC que fue construida pero no comisionada debido al cambio en las políticas del gobierno. Y ahora está siendo demolida.

Una de los principales conductores del desarrollo de la opción del reprocesamiento es la reducción del volumen de los altos niveles de desechos, que posiblemente evitaría la necesidad de construir una segunda etapa en el repositorio de Yucca Montain. Este

reporte requiere que el DOE desarrolle un plan integrado de uso y reciclado de combustible para el 2007 y seleccione una tecnología de reprocesamiento poco después.

Parte de la asignación del senado de la AFCI se destinó al profundo estudio del desgaste del combustible nuclear y a las investigaciones asociadas. Este es un concepto atómico general que implica la separación de actinidas del reprocesamiento de partículas refractantes del combustible, que pueden ser utilizadas en los reactores de alta temperatura. Las actinidas de larga vida, incorporadas en el combustible, se transformarían productos de fisión de corta vida. Se afirma que el 95% del plutonio-239 y el 60% de otras actinidas serían destruidas.

Bajo la AFCI el Laboratorio nacional Argonne está preparando una demostración de ingeniería a escala del proceso UREX+ para el reprocesamiento de combustible usado. Algunas variaciones de esto, han sido desarrolladas por el DOE, pero la idea es separar el uranio de los elementos transuránicos (plutonio, neptunio, americio y curio juntos) y los productos de fisión. De los últimos, el tecnecio, cesio y estroncio pueden ser separados para la transmutación. Los elementos transuránicos pueden ser quemados en reactores de neutrones rápidos. Se estima que usando este proceso, la capacidad efectiva del repositorio de Yucca Montain aumentaría cinco veces y se logra una mejor utilización de uranio.

Congruente con esto, el Instituto de Energía Nuclear de los Estados Unidos ha dicho que la industria nuclear de los Estados Unidos necesita un plan para el reciclaje del combustible usado. Esto para reducir la larga vida de los derivados radioactivos de la misma manera que los desechos de corta vida que no son más tóxicos que el uranio original. Esto significa que el reciclado y quemado de todas las actinidas de larga vida es más eficiente cuando se realiza en reactores de neutrones rápidos, tal como los de los diseños de la cuarta o sexta generación.

En Noviembre del 2005 la Sociedad Nuclear Americana también publicó una declaración diciendo que “creen que el desarrollo y despliegue de la tecnología de avanzada, de los reactores basados en la fisión de neutrones rápidos, es importante para la sustentabilidad, fiabilidad y seguridad del suministro de energía mundial en el

largo plazo". "Esto permitirá" ampliar unas cien veces la cantidad de energía extraída de una misma mina de uranio. La declaración prevé el reprocesamiento en el sitio del combustible, utilizado en los reactores de neutrones rápidos, y dice que "prácticamente todos los elementos pesados de larga vida son eliminados durante la operación del reactor rápido, dejando una pequeña cantidad de residuos de fisión gastados que requieren aislamiento del medio ambiente por menos de 500 años". El plazo para la ejecución es de dos décadas.

A mediados del 2006 un reporte del Boston Consulting Group para Areva y basado en la información de Areva, mostró que el reprocesamiento del combustible para reciclar usado en los Estados Unidos, sería económicamente competitivo con la disposición directa del combustible usando el proceso acuoso Coex. El incremento en el costo, en comparación con la disposición directa, es compensado con el valor de combustible reciclado. El proceso COEX ha sido desarrollado por Areva y es usado hoy en día en cuatro plantas de reprocesamiento en Francia, Reino Unido, Rusia y Japón. Una planta de 12 billones de dólares y 2.500 t/año fue considerada, con un capital de inversión total de 16 billones de dólares considerando todos los aspectos. Esto tendría el beneficio de reducir en gran medida la demanda por espacio en el proyecto del repositorio de Yucca Montain, y extendería considerablemente su vida.

Bajo la GNEP se diseñará una demostración de ingeniería a escala (ESD) de una planta de reprocesamiento planeada para entrar en operación desde el 2011. La ESD de 10-25 t/año está diseñada para preparar el camino para una planta de escala completa de 2.000 t/año.

Un sitio posible para una planta de reprocesamiento inicial es en Morris, Illinois, el único con licencia, fuera del reactor húmedo, para instalaciones de almacenamiento de combustible usado, en los Estados Unidos. Es adyacente a la planta nuclear de Dresden y a la disposición de 700 toneladas. Fue el sitio de la planta de recuperación de combustible de GE, una planta pequeña construida en los inicios de los 70, pero declarada inoperable en 1974.

Fuente: World Nuclear Association, "Nuclear Power in the USA", fecha de octubre 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#reprocessing

Como parte de su programa regulatorio, la Oficina de investigación nuclear regulatoria de la NRC conduce un programa extensivo de investigación, para proveer, de forma independiente, información y experiencia para la toma de decisiones segura y para la evaluación de los problemas técnicos potenciales. Esta investigación de la NRC es realizada por laboratorios de gobierno, universidades y otras instituciones de investigación. Los tópicos de la investigación incluyen temas como la durabilidad y la integridad de los componentes del reactor, el impacto de fenómenos naturales como los terremotos y tornados en las instalaciones nucleares, la tecnología para la disposición de desechos radioactivos, y cómo reaccionan los trabajadores frente a los instrumentos y sistemas en las instalaciones nucleares.

Fuente: Nuclear Regulatory Commission. "NRC -- Regulator of Nuclear Safety (NUREG/BR-0164, Rev. 4)"

A.2.5.3 Propiedad

El gobierno de los Estados Unidos no es propietario ni operador de ninguna mina de uranio, molienda ni producción de combustible relacionados con la producción de energía nuclear para uso civil.

A.2.6 Rol de la industria privada en la energía nuclear

A.2.6.1 Suministro de combustible

Todas las minas de uranio, proceso y fabricación de combustible están en manos de privados. Las generadoras son responsables de la adquisición del combustible de sus plantas generadoras.

A.2.6.2 Propiedad

Consolidación de la propiedad

A final de 1991, un total de 101 empresas individuales del servicio público (incluyendo las minoritarias) tenían interés de propiedad en las plantas de energía nuclear operables. Para finales de 1999, este número había caído a 87, y los 12 más grandes eran propietarios del 54% de la capacidad, levemente mayor que en 1991. Con

la desregulación de los mercados eléctricos de algunos estados, vino una ola de fusiones y adquisiciones en 2000-1 y a fines del 2005 las 10 empresas del servicio público más grandes, tenían un 68% de la capacidad. Las empresas de servicios públicos están tratando de pagar o repactar la deuda debido a que gran parte de los costos en adelante son en efectivo.

Sin embargo, las nuevas inversiones sólo han ocurrido en los estados que han desregularizado su sistema y han confiado al mercado el precio de la electricidad. No ha habido ninguna planta vendida en los estados con el precio fijado de forma tradicional sobre los costos en los Estados Unidos.

Las adquisiciones han sido sesgadas hacia las plantas en regiones con precios eléctricos altos, debido al potencial de tener márgenes más altos si se logran disminuir los costos de producción de las plantas. De los 5.900 MWe interesados a mediados del 2000, la mitad estaba asociado a plantas que en 1998 tenía costos sobre los 2 centavos por kWh. Los vendedores tienden a considerar el costo más alto de la planta como posibles pasivos y están dispuestos a librarse de ellas por una fracción de su valor contable, mientras que las empresas del servicio público compradoras, más grandes, consideran las plantas como activos potenciales, dependiendo solamente de su capacidad para reducir los costos.

Respecto al número de operadores de plantas nucleares, éste ha caído de 45 en 1995 a 25 en el 2007, mostrando una consolidación sustancial de la experiencia.

Fusiones corporativas

La mayor parte de la capacidad nuclear de generación envuelta en los anuncios de consolidación ha sido asociada con fusiones.

La fusión de los dos generadores nucleares de mayor capacidad, Unicom y PECO Energy por 32 billones de dólares, para formar Exelon, ha sido una de las dominantes, involucrando 14 reactores, más tres unidades AmerGen, un total de 17.

La fusión de Carolina Power y la Light and Florida Corporation, involucró cinco reactores en cuatro sitios. Esto borraría su último obstáculo regulador en Noviembre del 2000.

La fusión de GPU con FirstEnergy (8,5 billones de dólares) involucró cuatro unidades, y fue aprobada en Noviembre del 2001.

En el 2004 PSEG y Exelon acordaron fusionarse, y Exelon se hizo cargo de la gestión de los tres reactores en Salem y Hope Creek de PSEG en Enero del 2005. Sin embargo en el 2006 los reguladores de Nueva Jersey se negaron a permitir la fusión dejando a Exelon a cargo de la gestión de estas plantas. Una nueva racionalización de la propiedad está siendo considerada para que Exelon continúe con el funcionamiento de éstas.

En el 2005 la FPL y la Constellation Energy acordaron la fusión (manteniendo el último nombre) operando 11 reactores juntas (sobre los 8.200 MWe) en siete ubicaciones. Sin embargo, la fusión fue suspendida después de 10 meses debido a los obstáculos regulatorios de Maryland.

La gestión de los contratos

La compañía de gestión nuclear (NMC), un join venture formado en 1999 por cuatro empresas de servicios públicos del medio oeste, fue aprobada por la NRC como una compañía de operación nuclear. Se hizo cargo de la operación, adquisición de combustible y la mantención de ocho unidades nucleares (4.500 MWe) en seis ubicaciones, que continúan siendo propiedad de las empresas de servicios públicos, cada una con un 20% de la NMC. Estas siguen siendo responsables por la adquisición del combustible y del desmantelamiento. Al igual que con las fusiones, los principales impulsores de la NMC son la reducción de costos y la racionalización de las operaciones. Sin embargo, con la venta de plantas, obteniendo la consolidación de esta manera, sólo dos plantas (3 reactores) – Monticello y Prairie Island – permanecía con la NMC y con el mismo propietario para Octubre del 2007. En consecuencia, la licencia de operación está siendo transferida de vuelta al dueño, y la NMC será incorpodara dentro de Xcel Energy, la compañía matríz.

En Septiembre del 2003, Entergy Nuclear firmo un acuerdo para hacerse cargo de la gestión de la planta nuclear Nebraska Cooper, un reactor de agua hirviendo de 800 MWe con un pobre historial de funcionamiento. Entergy pago los honorarios y quedo como elegible para recibir hasta un 50% más en el pago de incentivos por mejoras en la

seguridad y reglamentación del desempeño. Se reembolsará a todos los empleados relacionados con los gastos. Nebraska Public Power District retuvo la propiedad, como el único operador y licenciado y el que toma toda la energía producida. Entergy es segundo operador nuclear en los Estados Unidos, y ve los arreglos como un área potencial de crecimiento.

Fuente: World Nuclear Association, "Nuclear Power in the USA", fecha octubre 2008.

http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html#consolidation

A.2.6.3 Financieros

Costos de producción

El costo total anual asociado al consumo del combustible nuclear resultante de las unidades de operación se basa en la amortización de los costos de, adquisición de uranio, conversión, enriquecimiento y servicios de fabricación, junto con el almacenamiento, los costos de envío, y el inventario (incluido los intereses), menos los cargos de cualquier valor de salvamento previsto. Para una típica planta BWR o PWR, el costo aproximado de combustible para una recarga (reemplazando un tercio del núcleo) es alrededor de 40 millones de dólares, basados en un ciclo de reemplazo de 18 meses. El costo promedio de combustible de una planta nuclear en el 2007 fue de 0,47 centavos/kWh. Debido a que la planta nuclear es recargada cada18-24 meses, éstas no están sujetas a la volatilidad del precio de los combustibles como las plantas de gas natural o petróleo.

El costo anual asociado con la operación, mantención, administración y soporte de una planta de energía nuclear, incluye los costos relacionados al trabajo, materiales y suministros, servicios contratados, honorarios por licencias y costos misceláneos, como los gastos de los empleados o los honorarios regulatorios. El costo promedio de O&M de una planta nuclear, sin considerar el combustible, fue de 1,29 centavos/kWh en el 2007.

El costo de producción de una planta de energía es el de O&M y el de combustible. Desde el año 2001 las plantas de energía nuclear han alcanzado el costo de producción más bajo entre las plantas de carbón, gas natural y petróleo.
El costo de combustible representa el 27% del costo de producción de una planta nuclear. En cambio, el costo de combustibles para el carbón, gas natural y petróleo representa más del 75% de los costos de producción.

Costo relacionado a la gestión de los desechos

Como se informo el tercer trimestre del año 2008, 31,4 billones de dólares se han comprometido con el Fondo de desechos nucleares (un decimo de un centavo por kWh de electricidad generada en una planta de energía nuclear más los intereses desde 1983). De los 31,4 billones de dólares, se han gastado 9,5. Los pagos al fondo de desechos nucleares están incluidos en el costo del combustible nuclear.

El costo estimado de desmantelamiento por planta es de 300-500 millones de dólares, éste incluye estimaciones radiológicas, combustible utilizado y el costo de restauración del sitio, de alrededor de 300, 100, 150 y 50 millones de dólares respectivamente. Estos 31,9 billones de dólares de costo por el desmantelamiento no están incluidos en los costos de producción.

De los 31,0 billones de dólares totales estimados para el desmantelamiento, suponiendo un costo promedio por planta de 300 millones de dólares, 22,5 billones de dólares o cerca de los dos tercios ya han sido financiados. El resto, 9,4 billones de dólares, será financiado durante los próximos 20 años (el promedio de las licencias de las plantas nucleares es de 40 años).

Los costos del ciclo de vida (Figuras estadounidenses)

El costo del ciclo de vida, son los costos totales estimados versus la electricidad generada en el tiempo de vida de una planta nuclear. El costo incluye la construcción, la operación y mantenimiento, el combustible y el desmantelamiento. Véase en la tabla siguiente los costos nucleares, de carbón y gas.

Tabla A.2.8 Costo de la electricidad a partir de distintas tecnologías

Table 1. Cost of Electricity from Various Generating Technologies (Nuclear Energy Institute Financial Model)

Technology	Nuclear		SCPC	IGCC		Gas Combined Cycle		
Project Structure	PF LG 80/20	RB CWIP 50/50	RB CWIP 50/50	RB CWIP 50/50	PF LG 80/20	PF 50/50	PF 50/50	PF 50/50
EPC Cost ($/kWe)	$3,500 - 4,500		$2,250	$3,700		$1,000		
Total Cost ($/kWe)	$5,071 -6,378	$4,351 -5,473	$2,424	$4,164	$4,855	$1,195	$1,206	$1,218
Fuel Cost (nuclear - $/MWh) (coal/gas - $/mmBtu)	$7.50		$1.50	$1.50		$6.00	$8.00	$10.00
Capacity (MWe)	1,400		800	600		400		
First Year Busbar (2007 $/MWh)	$64.4 - 75.8	$96.9 -118.8	$70.6	$112.3	$71.8	$70.4	$83.9	$98.4
Levelized Busbar (2007 $/MWh)	—	$73.60 -87.70	$55.2	$83.60	—	—	—	—
Impact of $30/Ton C02 Price (2007 $/MWh)	—	—	+ $25.00	+ $25.0		+ $13.0		

Abbreviations: PF=project finance; LG=loan guarantee; RB=rate base; CWIP=construction work in progress.
Notes: The nuclear cases assume 48-month construction, 6-month start-up; owner's cost of $286/kWe and 10% contingency; 6.5% interest rate on commercial debt for unregulated entities, 6.0% interest rate on commercial debt for regulated entities, 4.5% interest rate on government-guaranteed debt, 15% return on equity; 5% loan guarantee cost in 80/20 loan guarantee case; 90% capacity factor; O&M cost of $9.50/MWh and fuel cost of $7.50/MWh. The capital cost estimates for supercritical pulverized coal (SCPC) and integrated gasification combined cycle (IGCC) are from recent regulatory filings for projects.

Fuente: Nuclear Energy Institute. "The Cost of New Generating Capacity in Perspective" Agosto 2008.

http://www.nei.org/resourcesandstats/documentlibrary/reliableandaffordableenergy/whitepaper/the_cost_of_new_generating_capacity/

A.2.6.4 Gestión de los desechos

Los datos de los costos del combustible nuclear usado (SNF) son recolectados por la EIA para la Oficina civil de gestión de desechos radioactivos (OCRWM). Los datos incluyen un detalle de las características de los SNF generados por las plantas nucleares comerciales de los Estados Unidos. Estos datos han sido recolectados anualmente desde 1983 a 1995. La última base de datos detallada es del 31 de Diciembre del 2001 y contiene todas las descargas, de los reactores comerciales, hechas antes de esa fecha, y es mantenida por la EIA (Véase Tabla A.2.8)

Tabla A.2.9 Descargas totales de combustible nuclear comercial gastado en los E.E.U.U. 1968 - 2002

Tipo de reactor	Número de Ensamblajes		
	Almacenado en los sitios de los reactores	Almacenado fuera de las instalaciones de los reactores	Total
Reactor de agua en ebullición	90.398	2.957	93.355

Reactor de agua presurizada	69.800	491	70.291
Reactor de alta temperatura refrigerado por gas	1.464	744	2.208
Total	**161.662**	**4.192**	**165.854**
	Toneladas métricas de Uranio (MTU)		
Reactor de agua en ebullición	16.153,6	554,0	16.707,6
Reactor de agua presurizada	30.099,0	192,6	30.291,6
Reactor de alta temperatura refrigerado por gas	15,4	8,8	24,2
Total	**46.268,0**	**755,4**	**47.023,4**

MTU = Toneladas métricas de uranio.
Notas: No se incluyen en esta tabla un número de descargas de montaje anteriores a 1972, que fueron reprocesados. (No se tienen datos disponibles de montajes reprocesados antes de 1972).
El total no es igual a la suma de los componentes debido al redondeo.
Fuente: Energy Information Administration, Form RW-859, "Nuclear Fuel Data" (2002).

http://www.eia.doe.gov/cneaf/nuclear/spent_fuel/ussnfdata.html

A.2.7 Requerimientos de recursos humanos

A.2.7.1 Industria privada

El empleo total, en la industria de la producción de uranio en los Estados Unidos, era 1.231 personas-año para el 2007, y se incremento un 63% desde el total del 2006. El empleo en la minería fue el que aumento más (213%) y el empleo en la exploración tuvo el segundo mayor aumento (100%). El empleo en la molienda y procesamiento del uranio creció 11%, mientras que el empleo de la recuperación, no cambio en nada del 2006 al 2007.

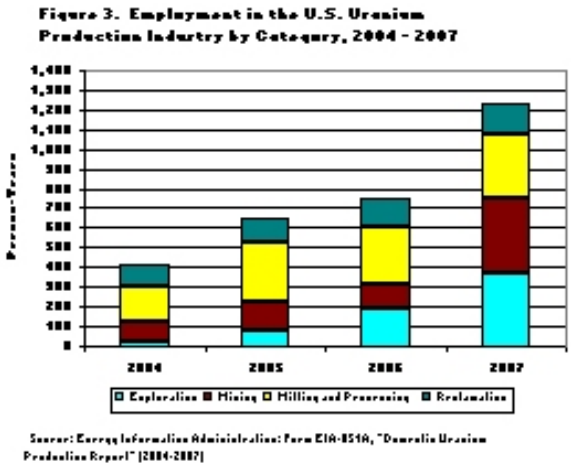


Figura 2.5 Empleo en la industria de la producción de uranio de EE.UU.
Fuente: Energy Information Administration, Domestic Uranium Production Report

http://www.eia.doe.gov/cneaf/nuclear/dupr/dupr.html

Empleo en la planta nuclear

La operación de una planta nuclear en los Estados Unidos genera entre 400 y 700 puestos de trabajo permanente. Estos trabajos pagan un 36% más que el sueldo promedio del área local. Los 400 a 700 empleos permanentes crean un número equivalente de puestos de trabajo en el área local para proveer bienes y servicios de soporte necesarios para la fuerza de trabajo de la planta nuclear (por ejemplo: tiendas de alimentación, tintorerías, concesionarios de automóviles, etc.).

La construcción de una nueva planta nuclear da como resultado la creación de entre 1.400 y 1800 empleos durante la construcción (con un máximo tan alto como 2.400 empleos en ciertos momentos)

Fuente: Nuclear Energry Institute. "Nuclear Power Plant Contributions to State and Local Economies", Enero 2008

http://www.nei.org/resourcesandstats/documentlibrary/reliableandaffordableenergy/factsheet/nuclearpowerplantcontributions/

Desarrollo de Recursos Humanos

Los Estados Unidos han volteado la tendencia de disminución de egresados universitarios en ingeniería nuclear en los últimos cinco años. La fuerza de trabajo en la industria de potencia nuclear está envejeciendo y gran parte del conocimiento adquirido puede desaparecer a medida que los profesionales de las instituciones de investigación, universidades y laboratorios comiencen a jubilar. Sin un programa activo de construcción de nuevas plantas nucleares, no es clara cuál será la demanda de la fuerza de trabajo en el futuro cercano. En los últimos años, las universidades han agregado nuevos programas para el entrenamiento de ingenieros nucleares. El Departamento de Energía de los EEUU tiene un programa activo para promover el desarrollo académico de estos programas. Relacionados con la energía nuclear. La Sociedad Americana Nuclear, una organización profesional también promueve el mejoramiento académico relacionado con la energía nuclear en las mayores instituciones académicas.

A.2.8 Seguridad y garantías

La oficina de seguridad y garantías de material nuclear (NMSS) es una de las tres oficinas principales del programa de la NRC. La NMSS es responsable de la regulación de las actividades, que proveen la seguridad y la producción segura del combustible nuclear utilizado en los reactores comerciales; el almacenamiento seguro, el transporte y la disposición de los desechos de alto nivel radioactivo y del combustible usado; y el transporte del material radioactivo regulado por el decreto de la energía atómica.

El programa doméstico de garantías tiene por objeto asegurar que el material nuclear especial dentro de los Estados Unidos no sea robado o desviado de las instalaciones civiles para su posible utilización en explosivos clandestinos fisionables y que no planteen un riego irrazonable debido al sabotaje radiológico. Los usuarios de cantidades nucleares especiales y de material secundario aplican garantías para protegerse del sabotaje, el robo o la desviación, incluyendo

- Protección física de las instalaciones y/o del material nuclear especial tanto en lugares fijos como durante el transporte, y
- Control y contabilidad del material nuclear especial

Con el objetivo de determinar cuanta protección física es necesaria, la NRC tiene un programa de evaluación de amenazas para mantener conciencia de las capacidades de los adversarios potenciales y las amenazas a las instalaciones, los materiales, y las actividades. El sistema de regulación incluye

- Reglamento de orientación y comunicación
- Requerimientos de las licencias
- Supervisión

La NRC ayuda a aplicar los siguientes tratados y convenios

- El tratado de No proliferación nuclear (NPT): la concesión de licencias de las actividades de exportación nuclear, para facilitar la inspección de las garantías de la IAEA en las empresas de servicios públicos licenciadas por la NRC, y los programas de asistencia bi y multi laterales que ayudan a satisfacer las obligaciones de los Estados Unidos bajo la NPT.

- El acuerdo de garantías de la IAEA y los Estados Unidos (de ofrecimiento voluntario): es un acuerdo voluntario que requiere que las instalaciones elegibles de los Estados Unidos revelen los datos contables de los materiales declarados y se sometan a las inspecciones de la IAEA. El acuerdo fue diseñado para mostrar datos a otros países subscritos a las garantías de la IAEA, para no dar a lugar situaciones de desventaja económica.
- Protocolo adicional al acuerdo de garantías de la IAEA y de los Estados Unidos (AP): requiere el fortalecimiento de los reportes de la IAEA y los derechos de acceso a las instalaciones elegibles. Este acuerdo está diseñado para reforzar y aumentar las garantías actuales del acuerdo entre los Estados Unidos y la IAEA.
- La convención de la notificación temprana de un accidente nuclear y la convención de asistencia en caso de accidentes nucleares y de emergencias radiológicas: La NRC está obligada a reportar accidentes significativos a la IAEA y a los países afectados a través del Departamento de Estado de los Estados Unidos. La NRC ayuda al Departamento de Estado estadounidense a dar respuesta a los requerimientos de asistencia de países extranjeros ante casos de accidentes o emergencias nucleares.
- La convención sobre la protección física del material nuclear: La NRC exige a los licenciatarios la protección del material nuclear durante el transporte internacional.
- La convención sobre la seguridad nuclear (CNS): La NRC prepara reportes nacionales de los Estados Unidos cada tres años y con los nombres de los gerentes de experiencia técnica a participar en las discusiones de revisión paritaria.

Como parte del régimen mundial de no proliferación nuclear, la NRC participa en las actividades de los Estados Unidos e Internacionales, para tener la cuenta y el control de los materiales nucleares destinados a usos comerciales y a otros usos de fines pacíficos.

A pesar de que los Estados Unidos no está obligado a ser parte del Tratado de no proliferación nuclear, lo ha firmado voluntariamente, para permitir la aplicación de las garantías de la agencia, de acuerdo con los términos de este trato, en todas las

instalaciones de materiales fisionables especiales dentro de los Estados Unidos, excluyendo sólo las instalaciones relacionadas con la seguridad nacional, importantes para los Estados Unidos, con el fin de fomentar la participación de los estados que no poseen armas nucleares, en el tratado. Como resultado de esto, se logró un acuerdo significativo de los Estados Unidos con las garantías de la IAEA en 1977. Desde entonces más de 200 instalaciones licenciadas por la NRC han sido puestas en la lista de las instalaciones elegibles para la inspección y reporte de las garantías de la IAEA y cuatro instalaciones han sido seleccionadas para presentar datos contables a la IAEA. Según los términos del acuerdo voluntario, los Estados Unidos proveen datos sobre el material nuclear declarado a la IAEA para la verificar y determinar que no se ha desviado material para el desarrollo de armas nucleares. Recientemente, un acuerdo adicional al de las garantías de los Estados Unidos y la IAEA, fue ratificado por el congreso y está a la espera de la implementación final. Cuando el protocolo adicional entre en vigor, todas las instalaciones estadounidenses elegibles estarán sujetas al fortalecimiento de los reportes de requerimientos y a la expansión de los derechos de acceso de la IAEA.

La NRC provee la asistencia técnica a la IAEA y apoya las iniciativas de extender y mejorar los programas garantías y verificaciones de los Estados Unidos.

La NRC participa en la protección física de los intercambios de información de los Estados Unidos con otros países. Los equipos de especialistas visitan las instalaciones y debaten para asegurarse que los materiales nucleares especiales transferidos entre los países tendrán la protección adecuada en los países receptores. El personal de la NRC tuvo un papel en la revisión de la Convención internacional de la seguridad física del material nuclear en Septiembre del año 2004.

A.2.9 Salud y Seguridad

El Consejo Nacional de Protección contra las Radiaciones y Mediciones (NCRP) promulga recomendaciones para proveer la base científica para la protección contra la radiación en el país. Individuos y organizaciones industriales que utilizan fuentes de

radiación se rigen por estas recomendaciones para asegurar que sus prácticas y equipos emplean los últimos conceptos de protección.

Organizaciones gubernamentales, que incluyen la Comisión Regulatoria Nuclear, los Servicios de Salud Pública, la Agencia de Protección Ambiental y los gobiernos regionales utilizan las recomendaciones de NCRP como la base científica para sus actividades relacionadas con la protección nuclear. La NCRP además trabaja junto a varios cuerpos internacionales de protección de radiación como la Comisión Internacional de la Protección Radiológica.

El Consejo Nacional de Investigación (NRC) regula la energía nuclear que incluye las plantas de potencia nuclear. Con la responsabilidad primaria de protección de la salud pública y la seguridad, el NRC tiene tres funciones regulatorias principales:

- Establecer estándares y regulaciones;
- Expedición de licencias para instalaciones nucleares y usuarios de materias nucleares;
- Inspección de instalaciones y usuarios de materias nucleares para asegurar cumplimientos de los requisitos (WNA 2008e).

El NRC ayuda a implementar la Convención de Seguridad Nuclear (CNS) del OIEA. El NRC prepara un reporte nacional cada tres años y nómina a expertos técnicos a participar en discusiones de revisión inter pares.

A.2.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear

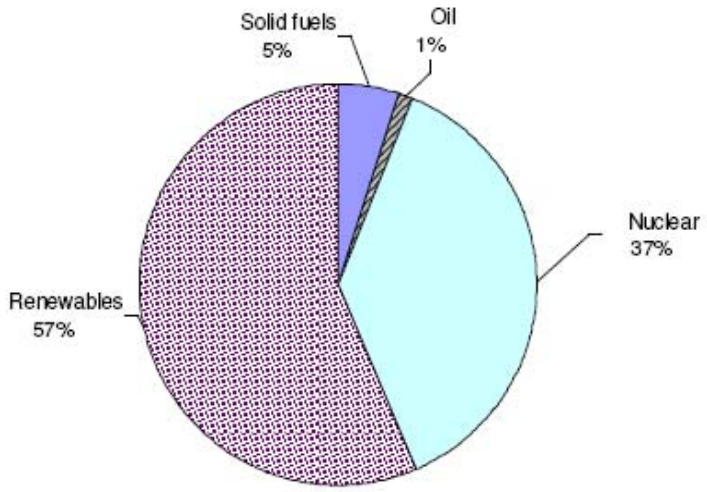
Una encuesta nacional reciente por Investigación Bisconti descubrió que un 86 por ciento de los estadounidenses ven la energía nuclear como un componente importante de la mezcla energética del país y un 77 por ciento concuerda que nuevas plantas deben ser construidas en la próxima década. Esta encuesta fue comisionada por el Instituto de Energía Nuclear.

A.3 Finlandia

A.3.1 Contribución Nuclear a la Matriz Energética

Aunque más de la mitad de la energía que usa Finlandia es importada, la producción de energía interna es primordialmente de tipo renovable y nuclear. (ver Figura A.2.3)

Figura A.2.3 Producción interna de energía en Finlandia en 2004



Fuente: EC 2007a.

En Finlandia hay cuatro plantas de potencia nuclear con una capacidad operativa combinada de 2,7 GW, detalle en la Tabla 2.15.

Tabla A.2.10 Reactores de potencia nuclear de Finlandia

Nombre	Propiedad	Ubicación	MW	Estado	Puesta en marcha[1]	Fecha de cierre esperada
Loviisa 1	Fortum Power y Heat Oy	Isla Hästholmen	510	Operando	1977	2027
Loviisa 2	Fortum Power y Heat Oy		510	Operando	1981	2030
Olkiluoto1	Teollisuuden Voima Oy; Fortum Power y Heat Oy;	Isla Olkiluoto, Eurajoki	860	Operando	1979	2039
Olkiluoto 2	Teollisuuden Voima Oy: Fortum Power y Heat Oy;	Isla Olkiluoto , Eurajoki	860	Operando	1982	2042

Fuentes: Fortum 2007a; WNA 2008b

Figura A.2.4: Planta de potencia nuclear Loviisa. Fuente: Fortum 2007b

Una tercera unidad de 1.600 MW en la planta de potencia nuclear Olkiluoto está actualmente bajo construcción y se espera que entre en operación en 2001 (CEC 2007).

Fortum Power y Heat Oy(Fortum) presentaron una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al Ministerio Finlandés del Trabajo y Economía para una nueva planta de potencia nuclear de 1.000-1.800 MW (Loviisa 3) propuesta para la isla Hästholmen, colindante con la planta de potencia nuclear Loviisa (Figura A.2.4). La decisión de aceptar esta estación se espera que se realice en 2010 y la meta es comenzar su construcción en 2012 y que su entrada en operación ocurra en 2018 (Fortum 2007b).

Teollisuuden Voima Oy (TVO) presentó una EIA para un cuarto reactor en la planta de potencia nuclear Olkiluoto (Fortum 2008).

Fennovoima Oy ha presentado una EIA para una planta de potencia nuclear adicional de 1.000-1.800 MW que incluya opciones de sitio en Kristiinankaupunki, Pyhäjoki, Ruotsinpyhtää y Simo (Fortum 2008 y WNA 2008b).

A.3.2 Marco Legal

Las plantas de potencia nuclear nuevas y existentes en Finlandia deben cumplir con el Acta y Decreto de Energía Nuclear (FNEA). La legislación entrega las normas generales para el uso de la energía nuclear, el procedimiento de licenciamiento de instalaciones, el manejo de residuos nucleares y garantizar la seguridad en la industria (Fortum 2007b). Además de la FNEA, el Acta de Radiación sirve para establecer los límites de niveles de radiación que producen efectos nocivos en la salud y el Acta de Responsabilidad Nuclear que establece las responsabilidades en accidentes nucleares de acuerdo a La Convención de París sobre Responsabilidad de Terceras Partes y Campo de la Energía Nuclear y a la Convención Suplementaria de Bruselas (NEA 2007a).

Finlandia es parte del Tratado de Energía Atómica de la Comunidad Europea (Euratom) que establece que cada Estado Miembro debe proveer planes, características técnicas e inversión para la eliminación de residuos radiactivos (Fortum 2007b).

De acuerdo con el Acta y Decreto de Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, las plantas de potencia nuclear están sujetas a evaluación. Además el UNECE Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context también es aplicable. Bajo esta última convención, el Ministerio Finlandés de Medioambiente actúa como ente coordinador y notifica a las autoridades medioambientales de la región del Mar Báltico (Estonia, Rusia, Dinamarca, Alemania, Suecia, Polonia, Letonia y Lituania) así como a Noruega. Se ha propuesto a estos países participar en el proceso de la EIA.

Finlandia es un país que no posee armas nucleares y es miembro del Tratado de No Proliferación Nuclear.

A.3.3 Marco Institucional y Normativo

En Finlandia, el Ministerio de Comercio e Industria (KTM) controla los programas de energía nuclear y crea legislaciones para regir estas actividades. El KTM también actúa como autoridad coordinadora (Fortum 2007b). El KTM es asistido en estas labores por

el Comité Asesor en Energía Nuclear y por el Comité Asesor en Protección de la Radiación (WNA 2008b).

Toda nueva planta de potencia nuclear en Finlandia requiere la resolución (antes una “decisión en principio”) del Gobierno de Finlandia (emitida por el Gobierno de Finlandia y ratificada por el Parlamento) (Fortum 2008). Además el operador debe obtener una licencia de construcción seguida de una de operación así como cumplir con los sistemas y políticas relacionadas a la generación de energía nuclear. Un formulario para la “decisión en principio” debe ser presentado, donde una evaluación de seguridad es realizada por la autoridad regulatoria nuclear, la Autoridad de Radiación y Seguridad Nuclear (STUK) (Fortum 2007b). Además el Ministerio de Medioambiente y los municipios locales deben realizar evaluaciones.

La STUK es responsable de la seguridad, diseño, decomisionamiento y regulaciones aplicables de todas las instalaciones nucleares. La STUK emite y es responsable de las regulaciones que involucran el uso seguro de la energía nuclear (Fortum 2007b). La STUK opera bajo la dirección del Ministerio de Asuntos Sociales y Salud.

La STUK también publica las Guías Regulatorias de Seguridad Nuclear (YVL Guides) bajo las que todas las plantas de potencia nuclear deben ser diseñadas y operadas. Las YVL Guides entregan detalladas reglas bajo las que los operadores nucleares licenciados deben operar. (Fortum 2007b).

Las plantas de potencia nuclear en Finlandia operan bajo una licencia entregada por el Gobierno de Finlandia. La licencia de operación es emitida bajo el FNEA sólo luego de que se haya asegurado que el postulante cuenta con personal operativo y administrativo con un nivel de conocimiento y competencia adecuado y que posea suficientes fondos y otros requisitos para operar de manera segura y alcanzar las obligaciones internacionales de Finlandia. Además la STUK debe garantizar que la instalación cumpla con todos los requerimientos legales y el KTM asegura que las provisiones para el manejo de residuos nucleares fueron hechas según lo solicitado.

El FNEA estipula que los residuos nucleares no deben ser importados ni exportados de Finlandia.

A.3.4 Seguridad en el Suministro de Combustible

A.3.4.1 Al interior del País

El combustible nuclear para los reactores de Finlandia es importado de otros países.

A.3.4.2 Externo

La planta de potencia Loviisa utiliza combustible obtenido por contrato con el grupo ruso TVEL. Mediante este contrato se asegura combustible durante toda la vida útil de la planta (Fortum 2007a). Además, los ensambles de combustible para Loviisa fueron provistos por British Nuclear Fuels (NEA 2007a). TVO ha comprado uranio a África, Australia, China y Canadá. La conversión a UF_6 ha sido realizada en Francia y Canadá y el enriquecimiento ha sido realizado en Rusia. La fabricación del combustible final ha sido realizada en Alemania, Suecia y España (WNA 2008b y NEA 2007a).

La eliminación de combustible agotado la realiza Posiva Oy (establecida por Fortum y TVO).

Fortum y TVO crearon Posiva Oy para gestionar el transporte y la eliminación final del combustible agotado producido en las plantas Olkiluoto y Loviisa. Posiva realizó una evaluación de impacto ambiental respecto a repositorios de combustible nuclear en 1999. Luego de una “decisión en principio” positiva (en 2001 y 2002), Posiva se enfocó en la investigación en eliminación en Olkiluoto y comenzó la preparación de la construcción de un repositorio subterráneo de roca. Posiva pretende eliminar su combustible agotado a una profundidad aproximada de 400 a 500 metros en el lecho rocoso de Olkiluoto, a pocos kilómetros de la planta de potencia nuclear existente. La eliminación del combustible agotado fue programada para empezar en 2020. El combustible agotado de una potencial nueva planta sería eventualmente eliminado en Olkiluoto. El objetivo es expandir el repositorio final de Olkiluoto para ubicar el combustible nuclear agotado de Loviisa 3 y postular a las licencias necesarias.

Residuos de Nivel Bajo

La mayoría de los residuos radiactivos generados en las plantas de potencia son de baja actividad. Consisten mayormente en residuos de mantención, como material de aislación, uniformes de trabajo, piezas de maquinarias, plástico y aceite.

Residuos de Nivel Medio

Los residuos de nivel medio son líquidos que provienen del intercambio de iones de resinas en el proceso y de sistemas de purificación de agua así como de la evaporación de residuos generados durante la limpieza de aguas residuales. Estos son solidificados con cemento en una planta destinada a la solidificación de residuos para su eliminación final. Los residuos de nivel bajo y medio son eliminados en repositorios construidos a 110 metros de profundidad en el lecho rocoso de Hästholmen. El repositorio final, construido en 1997, posee espacios destinados a diferentes tipos de residuos.

Residuos de Nivel Alto

Los residuos de nivel alto consisten en su mayoría en combustible nuclear agotado. En la planta son almacenados en piscinas de almacenamiento de combustible agotado. Luego de un almacenamiento temporal el combustible es ubicado en cápsulas en el lecho rocoso. Esto ha sido considerado como una solución segura por numerosos estudios e informes. El combustible agotado debe ser eliminado acorde con el Acta de Energía Nuclear. La eliminación de combustibles es llevada a cabo por Posiva Oy, que es propietaria de compañías de energía nuclear. El repositorio final y la encapsulación respectiva se espera que estén operativas en 2020. El combustible agotado de TVO proveniente de la planta de potencia nuclear Olkiluoto también será eliminado en la misma instalación en Eurajoki junto con el combustible de Loviisa.

A.3.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear

A.3.5.1 Suministro de Combustible

El Gobierno Finés no juega un rol directo en la obtención de combustible, pero establece regulaciones para su transporte y uso.

A.3.5.2 Investigación y Desarrollo

No existen institutos de investigación dedicados a la investigación nuclear en Finlandia; la mayoría de las investigaciones se realizan en el Centro Técnico de Investigación de Finlandia (VTT) (NEA 2007ª). El VTT está bajo la dirección del Ministerio del Trabajo y Economía (VTT 2008). El VTT participa en programas

nacionales e internacionales de investigación nuclear utilizando tanto fondos públicos como privados y también se autofinancia con las utilidades generadas.

La STUK financia la investigación en universidades finlandesas relacionadas a temas operacionales, incluyendo seguridad, eficiencia y eliminación de residuos así como de las finanzas y regulaciones de la industria nuclear. Para aumentar la eficiencia en las investigaciones la mayoría de las investigaciones realizadas en Finlandia con organizadas en programas de investigación. El Comité Asistente en Energía Nuclear ayuda dirigiendo estos programas, que han incluido:

- Seguridad en Plantas de Potencia Nuclear (1999-2002, 2003-2006) – investigación acerca del envejecimiento de infraestructuras, accidentes potenciales y riesgos;
- Programa de Investigación del Sector Público en el Manejo de Residuos Nucleares (2002-2005) – investigación en residuos nucleares principalmente con financiamiento público; y
- Programa Finlandés de Fusión (1999-2002, 2003-2006) – desarrollo de materiales, sistemas y servicios para la investigación de la fusión en Europa (NEA 2007a).

Las autoridades de seguridad nuclear e institutos de investigación de Finlandia toman parte en los comités y grupos de expertos Europeos e Internacionales para la preparación de medidas ante posibles emergencias, seguridad en reactores y manejo de residuos (NEA 2007a).

A.3.5.3 Propiedad

El gobierno Finlandés es propietario del 51% de Fortum (WNA 2008b). Además posee el 43% de TVO (WNA 2008b). El gobierno también es propietario de una porción del operador del sistema de transmisión eléctrica (Fingrid Oyj) (Fingrid 2008).

El Mercado eléctrico finlandés se privatizó en 1995 cuando el Acta de Nuevo Mercado Eléctrico entro en vigencia (NEA 2007a).

A.3.5.4 Manejo de Residuos

A.3.6 Rol de la Industria Privada en Energía Nuclear

A.3.6.1 Suministro de Combustible

Aunque no hay minas de uranio actualmente en operación en Finlandia, varias compañías (incluyendo a AREVA) han mostrado interés en la exploración minera en Finlandia (CEC 2008).

A.3.6.2 Investigación y Desarrollo

Fortum y TVO conducen investigación interna asociada a la seguridad, operación de las plantas de potencia nuclear y eliminación de residuos.

A.3.6.3 Propiedad

El mercado eléctrico finlandés está abierto a la inversión privada; de todas maneras en la actualidad el gobierno es propietario de un cierto porcentaje en los dos operadores de plantas de potencia existentes.

A.3.6.4 Manejo de Residuos

A.3.7 Requerimientos de Recursos Humanos

No se identificaron requisitos para recursos humanos para Finlandia

A.3.7.1 Gobierno

El Acta de Energía Nuclear fue modificado en el año 2003 para establecer el Fondo de Investigación para la Seguridad Nuclear. Estos fondos financian programas de investigación de energía nuclear. Uno de los objetivos principales de este programa es el entrenamiento de expertos nucleares para facilitar los requisitos para recursos humanos adicionales debido al nuevo proyecto de Olkiluoto 3 y el hecho que un gran número de expertos jubilarán en los próximos 5 a 10 años. Ambas companies nucleares tienen organizaciones de capacitación y un equipo de alrededor de 10 personas que se ocupan en esta capacitación. Además tienen simuladores completos específicos para sus plantas.

A.3.7.2 Industria Privada

Fortum indica que ellos realizan entrenamientos continuos al personal operativo, incluyendo tres o cuatro años de entrenamiento que se enfoca especialmente en las características de la estación de generación y de garantías de seguridad (Fortum 2007).

A.3.8 Seguridad y Salvaguardias

La STUK es la autoridad encargada de supervisar la seguridad de la energía nuclear, aunque se obliga al operador a garantizar seguridad (Fortum 2007). La STUK también debe preparar acciones ante emergencias en concordancia a lo establecido en el Tratado de No Proliferación Nuclear, del cual Finlandia fue el primer signatario.

Finlandia ha firmado dos convenios para fortalecer la base legal que promueve la seguridad nuclear . La Convención de la Protección Física de Materiales Nucleares que compromete legalmente a las partes estatales de proteger el material nuclear para usos domésticos pacíficos y el almacenamiento y transporte internacional y para proteger los lugares de almacenamiento contra el sabotaje. La Convención Internacional para la Supresión de Actos de Terrorismo Nuclear detalla los delitos relacionados con ilícitas posesiones intencionales y el uso de material nuclear o radioactivo.

A.3.9 Salud y Seguridad

A.3.9.1 Operaciones Normales

Cada año, ambas unidades de la planta Loviisa son cerradas por un período en el que se realiza corte eléctrico, que dura entre 16 a 42 días dependiendo del tipo de inspección que se vaya a realizar. Durante el corte, aproximadamente un tercio del combustible nuclear es cambiado, se lleva a cabo la inspección y mantenciones requeridas, y toda alteración al trabajo regular se programa para esta etapa. Estos cortes garantizan seguridad y buen funcionamiento en los siguientes periodos operativos y prolongan la vida útil de la planta.

Cada cuatro años se realiza una inspección más profunda en la que más revisiones y mejoras son llevadas a cabo en comparación a una mantención regular. El corte más largo tiene una duración típica de 42 días y toma lugar cada ocho años. En esta

instancia se hacen las inspecciones más intensas de la maquinaria, sistemas de automatización y de electricidad. El periodo de corte anual es un proyecto intensivo y cuidadosamente planeado, durante el cual el número de personal aumenta considerablemente. Adicionalmente al personal de Forum, 800 a 1.000 profesionales son contratados de aproximadamente 100 compañías.

A.3.9.2 Accidentes

La escala de eventos nucleares INES:

Clase 7 – Accidente mayor

Clase 6 – Accidente serio

Clase 5 – Accidente con riesgo fuera del sitio

Clase 4 – Accidente sin riesgo significativo fuera del sitio

Clase 3 – Incidente serio

Clase 2 – Incidente

Clase 1 – Anomalía

Clase 0 – Bajo la escala, sin significancia en seguridad

La planta de potencia Loviisa nunca ha sufrido un accidente sobre la Clase 2. De los cuatro incidentes Clase 2 en Loviisa, el último fue en 1993 cuando una tubería de agua tuvo una ruptura en el reactor 2 (Fortum 2007a).

A.3.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear

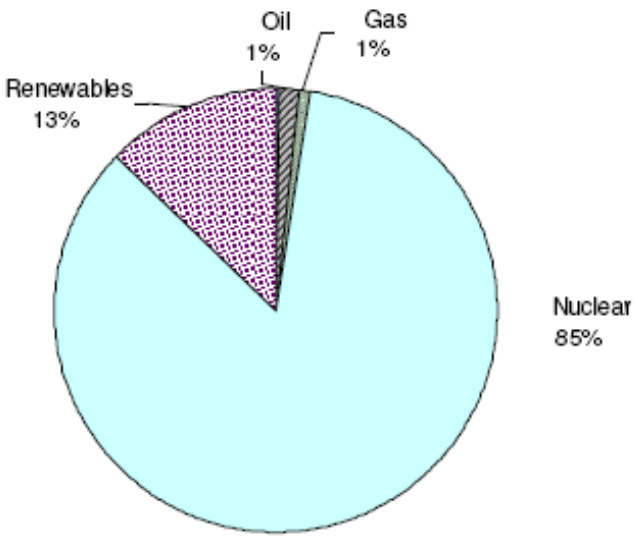
Una encuesta de opinión pública publicada en 2005 indicó que el 58% de los entrevistados finlandeses estaban a favor de la energía nuclear (CEC 2007). Otra encuesta de opinión pública de largo plazo (desde 1993) ha mostrado un incremento gradual en la comunidad a favor de la energía nuclear desde el accidente de Chernobyl en 1986 (NEA 2007a). La preocupación más común está relacionada con los residuos nucleares y su eliminación segura (NEA 2007a).

A.4 Francia

A.4.1 Contribución Nuclear a la Matriz Energética

En el 2004, el 85% de la producción de energía domestica de Francia provenía de fuentes nucleares (EC2007b). La Figura 2.8 muestra gráficamente la producción de energía domestica en Francia en el año 2004.

Figura A.20.4: Producción domestica de energía en Francia el 2004



Fuente: EC 2007b

Existen 59 reactores de energía nuclear en Francia; La Tabla 2.16 muestra detalles de estos reactores. La figura 2.9 es un mapa de Francia con las ubicaciones de los reactores en operación.

Tabla A.2.11: Reactores de energía nuclear de Francia

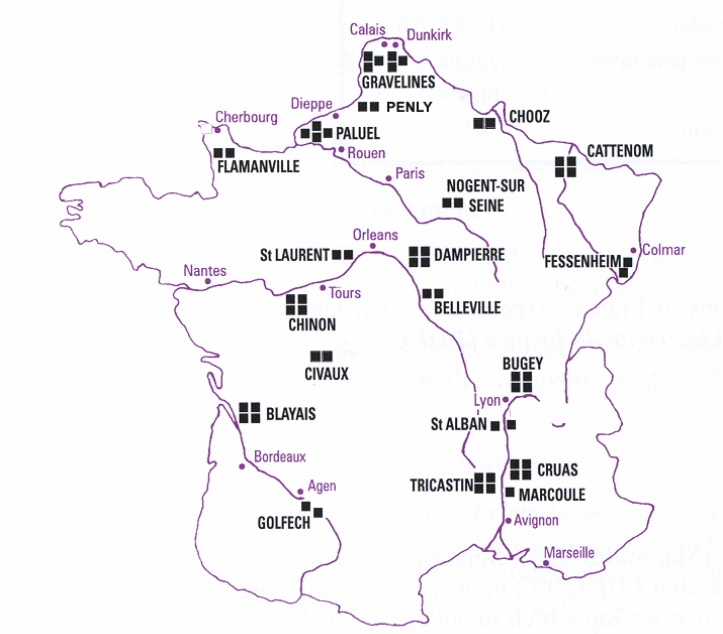
Nombre	Propietario	Tipo	MW	Estado	Fecha de inicio
Belleville-1	Electricite de France (EDF)	PWR	1310	Operacional	1988
Belleville-2	EDF	PWR	1310	Operacional	1989
Blayais-1	EDF	PWR	910	Operacional	1981
Blayais-2	EDF	PWR	910	Operacional	1983
Blayais-3	EDF	PWR	910	Operacional	1983
Blayais-4	EDF	PWR	910	Operacional	1983

Nombre	Propietario	Tipo	MW	Estado	Fecha de inicio
Bugey-2	EDF	PWR	910	Operacional	1979
Bugey-3	EDF	PWR	880	Operacional	1979
Bugey-4	EDF	PWR	880	Operacional	1979
Bugey-5	EDF	PWR	900	Operacional	1980
Cattenom-1	EDF	PWR	1300	Operacional	1987
Cattenom-2	EDF	PWR	1300	Operacional	1988
Cattenom-3	EDF	PWR	1300	Operacional	1991
Cattenom-4	EDF	PWR	1300	Operacional	1992
Chinon-B-1	EDF	PWR	920	Operacional	1984
Chinon-B-2	EDF	PWR	920	Operacional	1984
Chinon-B-3	EDF	PWR	920	Operacional	1987
Chinon-B-4	EDF	PWR	920	Operacional	1988
Chooz-B-1	EDF	PWR	1455	Operacional	2000
Chooz-B-2	EDF	PWR	1455	Operacional	2000
Civaux-1	EDF	PWR	1450	Operacional	2002
Civaux-2	EDF	PWR	1450	Operacional	2002
Cruas-1	EDF	PWR	915	Operacional	1984
Cruas-2	EDF	PWR	915	Operacional	1985
Cruas-3	EDF	PWR	915	Operacional	1984
Cruas-4	EDF	PWR	915	Operacional	1985
Campierre-1	EDF	PWR	890	Operacional	1980
Campierre-2	EDF	PWR	890	Operacional	1981
Campierre-3	EDF	PWR	890	Operacional	1981
Campierre-4	EDF	PWR	890	Operacional	1981
Fessenheim-1	EDF	PWR	880	Operacional	1977
Fessenheim-2	EDF	PWR	880	Operacional	1978
Flamanville-1	EDF	PWR	1330	Operacional	1986
Flamanville-2	EDF	PWR	1330	Operacional	1987
Golfech-1	EDF	PWR	1310	Operacional	1991
Golfech-2	EDF	PWR	1310	Operacional	1994
Gravelines-1	EDF	PWR	915	Operacional	1980
Gravelines-2	EDF	PWR	915	Operacional	1980
Gravelines-3	EDF	PWR	915	Operacional	1981
Gravelines-4	EDF	PWR	915	Operacional	1981
Gravelines-5	EDF	PWR	915	Operacional	1985
Gravelines-6	EDF	PWR	915	Operacional	1985
Nogent-1	EDF	PWR	1310	Operacional	1988

Nombre	Propietario	Tipo	MW	Estado	Fecha de inicio
Nogent-2	EDF	PWR	1310	Operacional	1989
Paluel-1	EDF	PWR	1330	Operacional	1985
Paluel-2	EDF	PWR	1330	Operacional	1985
Paluel-3	EDF	PWR	1330	Operacional	1986
Paluel-4	EDF	PWR	1330	Operacional	1986
Penly-1	EDF	PWR	1330	Operacional	1990
Penly-2	EDF	PWR	1330	Operacional	1992
Phenix	Commissariat à l'énergie atomique (CEA) / EDF	PWR	233	Operacional	1974
St. Alban-1	EDF	PWR	1335	Operacional	1986
St. Alban-2	EDF	PWR	1335	Operacional	1987
St. Laurent-B-1	EDF	PWR	890	Operacional	1983
St. Laurent-B-2	EDF	PWR	890	Operacional	1983
Tricastin-1	EDF	PWR	880	Operacional	1980
Tricastin-2	EDF	PWR	880	Operacional	1980
Tricastin-3	EDF	PWR	880	Operacional	1981
Tricastin-4	EDF	PWR	880	Operacional	1981

Fuente: IAEA 2003a

Figura A.2.5 Ubicación de las plantas de energía nuclear en Francia



Fuente: WNA 2008c

Además de los que están en funcionamiento, Francia actualmente está construyendo un Reactor Europeo de Agua Presurizada (EPR) de 1620 MW en Flamanville (será Flamanville 3) que se espera que entre en operación comercial en el 2012 (WNA 2008c). Además, la EDF anunció en el 2005 planes a largo plazo a partir del 2020 aproximadamente para sustituir todos los reactores (Phenix no está incluido), con reactores EPR de Areva a una tasa de aproximadamente uno por año (WNA 2008c).

También es relevante el número de reactores que han sido apagados en Francia. La Tabla A.2.12 provee detalles para los once reactores que han sido apagados.

Nombre	Propietario	Tipo	MW	Estado	Fecha de Inicio	Fecha de Apagado
Bugey-1	EDF	GCR	540	Apagado	1972	1994
Chinon-A1	EDF	GCR	70	Apagado	1964	1973
Chinon-A2	EDF	GCR	210	Apagado	1965	1985
Chinon-A3	EDF	GCR	480	Apagado	1966	1990
Chooz-A (Ardennes)	Sena	PWR	310	Apagado	1967	1991
Creys-Malville	Nersa	FBR	1200	Apagado	-	1998
El-4 (Monts D'Arree)	EDF	HWGCR	70	Apagado	1968	1985
G-2 (Marcoule)	Cogema	GCR	38	Apagado	1959	1980
G-3 (Marcoule)	Cogema	GCR	38	Apagado	196	1984
St. Laurent-A1	EDF	GCR	480	Apagado	1969	1990
St. Laurent-A2	EDF	GCR	515	Apagado	1971	1992

Tabla A.2.12 Reactores de energía nuclear apagados en Francia

Fuente: IAEA 2003a

A.4.2 Marco Legislativo

Francia estableció un sistema de concesión de licencias y control de las instalaciones nucleares en 1963 que evolucionó en 1973 para incluir el desarrollo del programa de energía nuclear. Sin embargo, la legislación y la regulación nuclear no

proviene de una ley definida. Por el contrario, ha evolucionado debido a que la industria ha crecido y se ha adelantado y, por lo tanto, muchas de las disposiciones generales se encuentran, en general, en partes de la legislación como la legislación de protección del medio ambiente (OECD 2003a). Sin embargo, hay una serie de leyes que son específicas para la industria de energía nuclear, incluyendo:

- Ley No. 68-493 – define las reglas respecto a las responsabilidades de terceras partes relacionadas con energía nuclear.;
- Código de Salud Pública – contiene los requerimientos específicos para las licencias de uso de radioisótopos;
- Ley No. 80-572 – provee reglas para la protección y control de materiales nucleares;
- Ley No. 91-1381 – rige la investigación de la gestión de residuos radioactivos; y
- Decreto No. 63-1128 – prepara el procedimiento para la licencia de instalaciones nucleares.

Las características originales de la legislación se basan en gran medida en las recomendaciones o reglamentos internacionales, tales como las normas de protección de la radiación provenientes de las Recomendaciones y las Directivas ICPR de la Unión Europea. Asimismo, la Ley N º 68-493 se basa principalmente en el Convenio de París del 29 de julio de 1960 (IAEA 2003a).

La eliminación de residuos se rige por la Ley de Gestión de Residuos que estableció una agencia de gestión de residuos - ANDRA. Más recientemente, la Ley del Programa de Gestión de Materiales y Residuos Nucleares (NMWMPA) fue aprobada en el 2006. Como parte de la NMWMPA, se declaró como la solución de referencia el almacenamiento geológico profundo de los residuos de alto nivel y radiactivos de larga vida y se establece el año 2025 como fecha límite para la apertura de un repositorio. La NMWMPA reafirma también el reprocesamiento de combustible consumido como una manera de reducir la cantidad y toxicidad de los residuos finales de la energía nuclear (WNA 2008c).

A.4.3 Marco Institucional y Normativo

En Francia, la Dirección General de Energía y Materias Primas (DGEMP), que opera bajo el Ministerio de Industria, aplica la política energética (OIEA 2003a).

Prevención y control de los potenciales efectos sobre la salud humana y ambiental relacionados a las instalaciones industriales, incluidas las centrales nucleares, cae bajo la responsabilidad del Ministerio de Salud y el Ministerio de Ecología y Desarrollo Sustentable, respectivamente. Este último Ministerio, así como el Ministerio de la Industria son los principales responsables de la instalación de grandes instalaciones nucleares (OIEA 2003a).

En el 2006, la Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN) fue designada como la autoridad reguladora responsable de la seguridad nuclear y protección radiológica. La ASN es un órgano independiente con cinco comisionados que se reportan a los Ministerios de Industria, Salud y Medio Ambiente (WNA 2008c).

La Ley N º 2000-108 del 10 de febrero de 2000, establece que el gobierno de Francia es responsable de garantizar la seguridad del suministro eléctrico y asegurar que los participantes en el mercado de electricidad se adhieran a las reglas definidas, además de otras actividades tradicionales como la elaboración de reglamentos, la fiscalización, la seguridad y la protección del medio ambiente.

A.4.4 Seguridad en el Suministro de Combustible

A.4.4.1 Al interior del País

Así como Francia construyó su programa de energía nuclear durante los años 1960 y 1970, también construyó una fuerte industria domestica para el ciclo del combustible (OIEA 2003a). La industria del ciclo de combustible en Francia está controlada fundamentalmente por Cogema (Empresa General de Material Nuclear) (OIEA 2003a), una filial de Areva.

En Francia, concentrados de uranio son convertidos a hexafluoruro en la planta Comurhex Pierrelatte (situada en el valle Rhone), con planes para una nueva planta (Comurhex II) que se espera que sea operativa en el 2012. Uranio enriquecido con tecnología de difusión por gas en la planta de Eurodif ubicada en Tricastic suministra

más de lo necesario para satisfacer la demanda de Francia. Se espera que Areva comience la operación de una nueva planta de enriquecimiento que utilizará la tecnología de centrifugadoras a principios del 2009. Hay varias plantas de fabricación de combustible en Francia y Bélgica con mejoras previstas para cada una (WNA 2008c).

El programa de energía nuclear de Francia es un ciclo cerrado de combustible con reprocesamiento para recuperar uranio y plutonio. Areva lleva a cabo el reprocesamiento en la planta de La Hague, en Normandía, para luego hacer la conversión y el enriquecimiento.

A.4.4.2 Externo

A pesar que Francia tiene la capacidad de conversión, enriquecimiento y la producción de combustibles de uranio, concentrado de óxido de uranio es importado de Canadá, Níger, Australia, Kazajstán y Rusia, la mayoría con contratos a largo plazo (WNA 2008c).

A.4.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear

A.4.5.1 Suministro de Combustible

El gobierno de Francia establece las normas que rigen la importación y suministro de combustible, sin embargo, es la industria privada la que en realidad suministra el combustible en Francia.

A.4.5.2 Investigación y Desarrollo

El gobierno francés ha participado en la I+D nuclear desde 1945 cuando la Comisión de Energía Atómica (CEA) fue creada. La CEA ha evolucionado desde su creación, pero sigue estando involucrada en la investigación atómica fundamental, diseño de reactores, desarrollo de combustible, procesos y tecnologías de enriquecimiento, gestión y eliminación de residuos y la seguridad nuclear (OIEA 2003a). La CEA está actualmente diseñando una nueva generación de reactores nucleares persiguiendo tres tipos:

- Reactor rápido enfriado por gas;
- Reactor rápido enfriado por sodio; y

- Reactor de muy alta temperatura enfriado por gas.

La meta es tener un prototipo operativo antes del 2020. La CEAN está interesada en los reactores rápidos con la esperanza de poder utilizar el uranio agotado y reprocesado que está almacenado actualmente en Francia (WNA 2008c).

El Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear (IRSN) proporciona los conocimientos expertos sobre seguridad nuclear y la radioactividad (OIEA 2003a).

En el 2008, Francia creó el Organismo Internacional Nuclear de Francia específicamente para proporcionar conocimientos técnicos a los países que deseen establecer programas nucleares (WNA 2008c).

A.4.5.3 Propiedad

EDF, el mayor operador de plantas de energía nuclear en Francia y en el mundo, es de propiedad del gobierno de Francia (IAEA 2003a).

A.4.5.4 Gestión de Residuos

La gestión de residuos en Francia es llevada a cabo por la agencia pública independiente ANDRA (IAEA 2003a).

A.4.6 Rol de la Industria Privada en Energía Nuclear

A.4.6.1 Suministro de Combustible

Dentro de Francia, Areva y su Grupo de empresas, en particular, COGEMA, proporcionan gran parte de la industria del ciclo del combustible, incluidas la minería y la exploración, la conversión, el enriquecimiento y la fabricación de combustible. Framatome también provee la fabricación de combustible (NEA 2007b).

A.4.6.2 Investigación y Desarrollo

Areva y sus subsidiarias están involucradas en la I+D, incluyendo un EPR de 1545 MW y un avanzado BWR (WNA 2008B)

A.4.6.3 Propiedad

Aunque el sector privado no participe en la propiedad o el funcionamiento de las centrales nucleares en Francia, el sector privado desempeña un papel en apoyando a la industria.

Framatone es la empresa líder en la construcción de plantas de energía nuclear así como también en diseño del reactor, operación y mantenimiento y conocimientos sobre fabricación de combustible de uranio. Framatone ha desempeñado un papel importante en la instalación de reactores en Francia.

AREVA es el principal accionista de Cogema que controla la mayoría de los ciclo de combustible de uranio en Francia. En Francia, Cogema lleva a cabo la exploración de uranio, opera las minas y las fábricas de uranio, opera el enriquecimiento de uranio, la fabricación de combustible y las instalaciones de reprocesamiento de combustible, así como la realización de el empaquetamiento de los residuos (IAEA 2003a).

A.4.6.4 Gestión de Residuos

La gestión de residuos en Francia cae bajo la autoridad de ANDRA, que es una industria pública.

A.4.7 Requerimientos de Recursos Humanos

CEA tenía 15.332 empleados en el 2006; 1.017 de ellos eran estudiantes de doctorado (CEA 2008).

El INSTN (Instituto Nacional de Ciencias y Tecnologías Nucleares) fue creado en el 1956 por el CEA bajo la autoridad del Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio de Industrias. Su misión principal es transmitir el conocimiento del CEA. Entrega diplomas académicos (magisters), diplomas de ingenieros y doctorados. Además ofrece programas de entrenamiento y está certificado por el ISO 2001 y preside la red europea para la educación nuclear.

A.4.8 Seguridad y Salvaguardias

La autoridad para la seguridad nuclear (ASN) fue establecida como la autoridad regulatoria responsable por la seguridad nuclear. La ASN es un cuerpo independiente

con cinco comisionaros que le reportan a los Ministros de la Industria, Salud y Medio Ambiente.

El tratado de no proliferación de armas nucleares (NPT) intenta la prevención de la dispersión de armamentos nucleares y tecnología de armamentos, fomentarle uso pacífico de la energía nuclear y de avanzar el gol del desarme. El tratado establece el sistema de salvaguardias bajo la responsabilidad del OIEA, que también juega un rol central en el tratado en las áreas de transferencia de tecnologías para motivos pacíficos. Francia es signatario de este tratado y también ha firmado la Convención de la protección física de materiales nucleares.

A.4.9 Salud y Seguridad

Bajo los auspicios del OIEA, Francia ha ratificado las principales convenciones en el área de seguridad nuclear, radiación, seguridad del transporte de desechos:

- La convención de seguridad nuclear
- La convención de protección física del material nuclear
- La convención de notificación temprana de accidentes nucleares.
- La convención de asistencia en caso de accidentes nucleares o de emergencia radiológica

La convención conjunta de la gestión del combustible gastado y la seguridad de gestión de desechos radioactivos.

La asociación mundial de operadores nucleares (WANO) es un grupo creado por los operadores nucleares en el mundo en donde existe un intercambio de experiencia en operaciones, de tal manera que los miembros pueden lograr los máximos estándares de seguridad nuclear. La Electricité de France es un miembro ordinario de WANO quién ofrece cuatro programas:

- Experiencia Operacional – este programa alerta los miembros a eventos que ocurren en otras plantas y que les permite tomar acción para prevenir eventos similares en sus propias plantas.

- Revisiones por pares – este programa tiene el objetivo de ayudar a los miembros de WANO a que comparen rendimientos operacionales contra las mejores prácticas internacionales.
- Desarrollo profesional y técnico (Talleres y Seminarios)
- Intercambio de apoyo técnico

A.4.10 Actitud del Público Frente a la Energía Nuclear

Como parte del Eurobarómetro Especial 297 (EC 2008), las encuestas públicas en Francia reflejaron que un 52% de los encuestados está a favor de la producción de energía por centrales nucleares.

A.5 Reino Unido

A.5.1 Contribución de la energía nuclear a la matriz energética

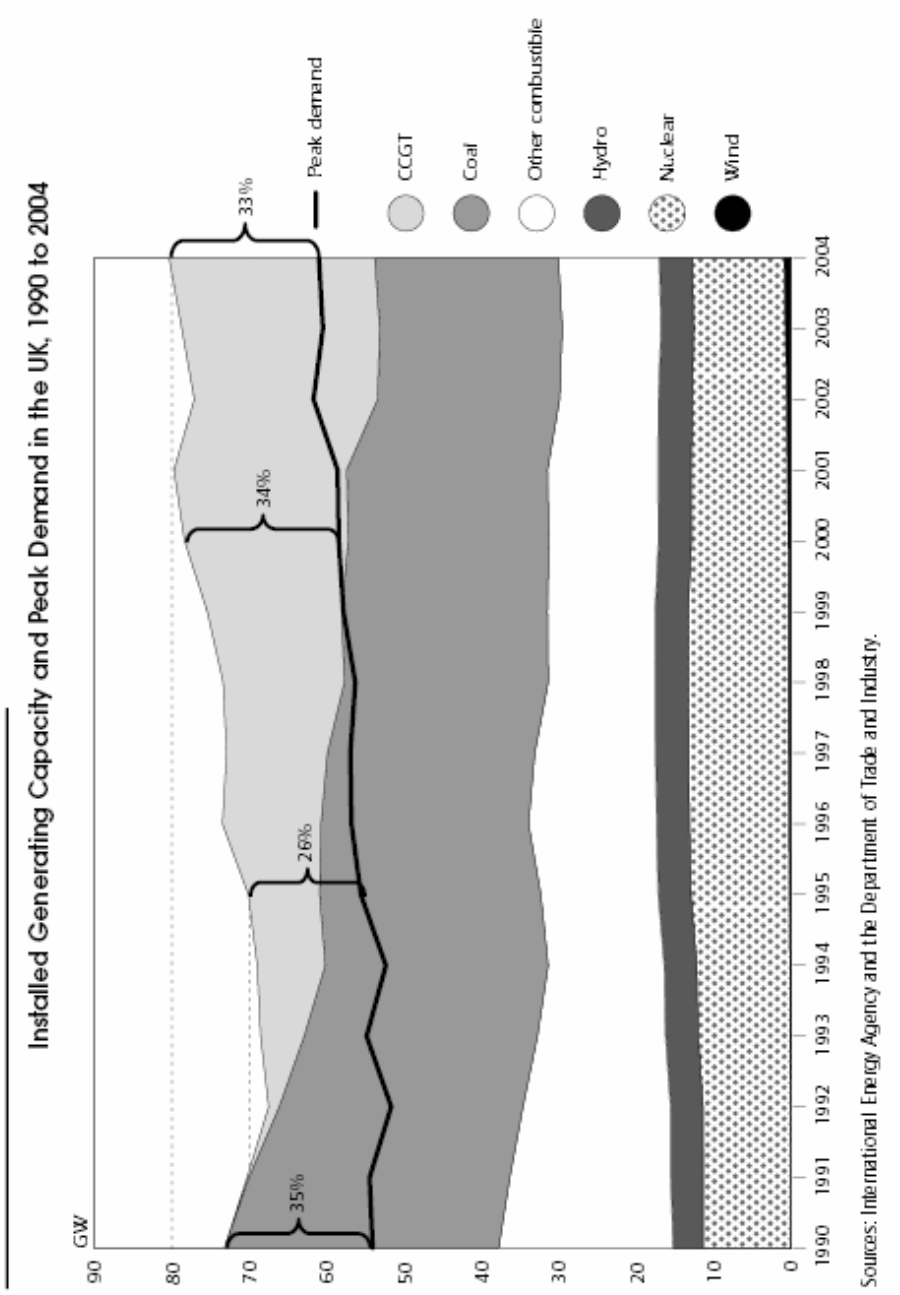
Estructura del Sistema Eléctrico

Desde 1973 el mix de generación eléctrica en el Reino Unido (RU) ha sufrido dos cambios importantes. En la primera fase hasta 1990, el porcentaje de la electricidad suministrada por centrales nucleares aumentó desde un 10% a 21%, desplazando la generación en base a petróleo que descendió de 26% a 11%. La segunda fase, desde 1990 a la fecha, se destaca por la sustitución de generación en base a carbón por generación en base a gas natural. El porcentaje de generación en base a carbón se mantuvo relativamente constante desde 1973 a 1990, pero desde 1990 a 2003 este porcentaje bajó desde un 65% a tan solo un 35%. Dentro de este mismo segundo período, el porcentaje de generación en base a gas aumentó desde tan solo un 2% a un 38%. En la última década el porcentaje relativo entre carbón y gas ha variado en forma importante, respondiendo dinámicamente a los precios cambiantes de ambos combustibles fósiles, que varían en forma importante año a año.

Hasta los años 80, la política del Gobierno del RU era clara en el sentido de que la energía nuclear debería aportar un porcentaje creciente de la electricidad, con reprocesamiento de combustible nuclear quemado para recuperar materiales fisionables y aumentar la utilización de uranio. En los años 90 la cantidad de electricidad producida por las centrales nucleares llegó a representar hasta el 30% de la producción total de energía eléctrica local.

Entre 1990 y 1994 se decomisionó un total de 14 GW de capacidad de generación basada en combustibles fósiles (excluyendo centrales a gas de ciclo combinado); esta pérdida de potencia instalada fue reemplazada con 9 GW de centrales de gas de ciclo combinado en 1994 y por 27 GW al año 2004. Al 2004 se había decomisionado adicionalmente 7 GW de plantas fósiles, excluyendo generación mediante gas en ciclo combinado.

La mezcla de energéticos en la generación eléctrica en el RU ha sido más diversa durante los últimos 15 años, en comparación a períodos anteriores en los cuales se confiaba en forma significativa en el carbón. Las estimaciones del Departamento de Comercio e Industria (DTI) indican que se podría esperar un aumento sostenido del uso del gas, llegando a representar posiblemente un 61% al año 2020.

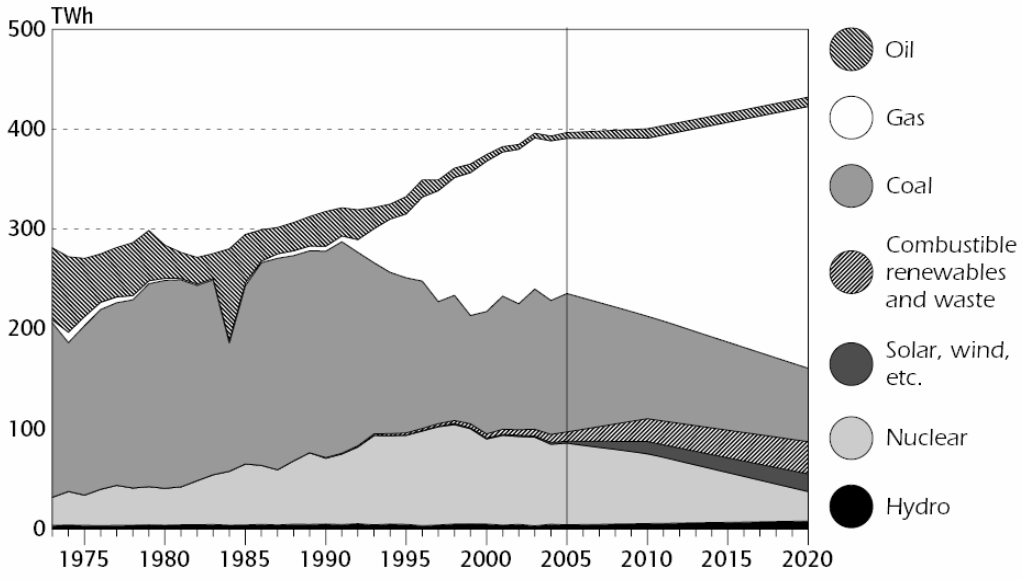


Los combustibles renovables y los desechos combustibles, junto a otras fuentes renovables de energía, se proyecta que puedan aportar la pérdida de energía que representan las centrales nucleares antiguas que será necesario decomisionar en el mediano plazo, aumentando hasta un porcentaje de 13% en el 2020 el aporte de las fuentes no convencionales.

Como muestra el gráfico anterior, del total de capacidad instalada de generación en el RU al año 2004, la potencia de origen nuclear representó cerca de un 14,6%. En el año 2006 fueron decomisionadas dos centrales nucleares con un total de 435 MWe, por lo que al 2006 la potencia de origen nuclear respecto del total instalado habría llegado aproximadamente un 12,8 del total.

Debido a disposiciones de la Unión Europea relativas a emisiones de grandes centrales de generación, entre el 2008 y el 2015 será necesario retirar 8 GW de generación en base a carbón. Las centrales nucleares se están volviendo antiguas, y entre los años 2006 al 2014 habrá sido necesario decomisionar 8 GW, o dos tercios de la capacidad nuclear existente. Todo esto implica la pérdida de hasta 16 GW de capacidad instalada de generación al 2015, que corresponde aproximadamente a un 20% de la capacidad instalada hoy en día. La interconexión de 2 GW entre el RU y Francia ha cooperado a mantener un cierto margen de generación y mejorar el suministro seguro de electricidad, llegando a representar cerca de un 3,3% de la demanda máxima del RU.

Electricity Generation by Source, 1973 to 2020



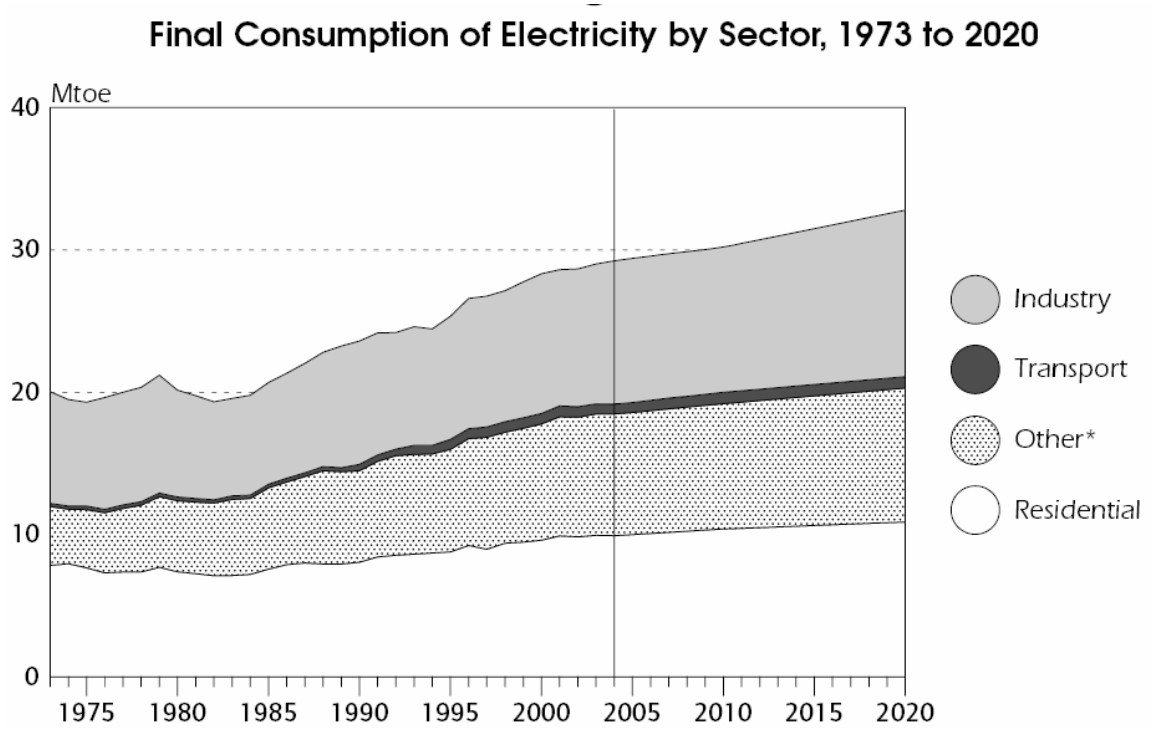
Sources: *Energy Balances of OECD Countries*, IEA/OECD Paris, 2006 and country submission.

El sistema eléctrico del RU espera que al 2010 se haya incorporado adicionalmente a lo instalado el 2006 un total de 12,6 TW de nueva capacidad de generación, dentro de lo cual se incluiría 6,4 GW de generación de gas en ciclo combinado, 7,2 GW de

generación eólica y una interconexión con Holanda de 800 MW de capacidad. En un plazo de 20 años, se espera que se incorpore al sistema eléctrico un total de 25 a 30 GWe de nueva capacidad de generación, con el propósito de minimizar las emisiones de carbón a la atmósfera. Dentro de este esfuerzo por reducir las emisiones de carbón y fortalecer el Programa Europeo de Comercio de Emisiones, se considera que los aspectos económicos de la energía nuclear serán particularmente importantes, ya que los costos de reducción de emisiones de carbón empleando energía nuclear son los más bajos de todas las alternativas disponibles, a un monto de GBP (Libra Esterlina) 0,3/tCO2 , que se compara en excelente forma con la segunda alternativa más barata, generación eólica en tierra firme, que tiene un valor de GBP 50/tCO2.

La Industria Eléctrica

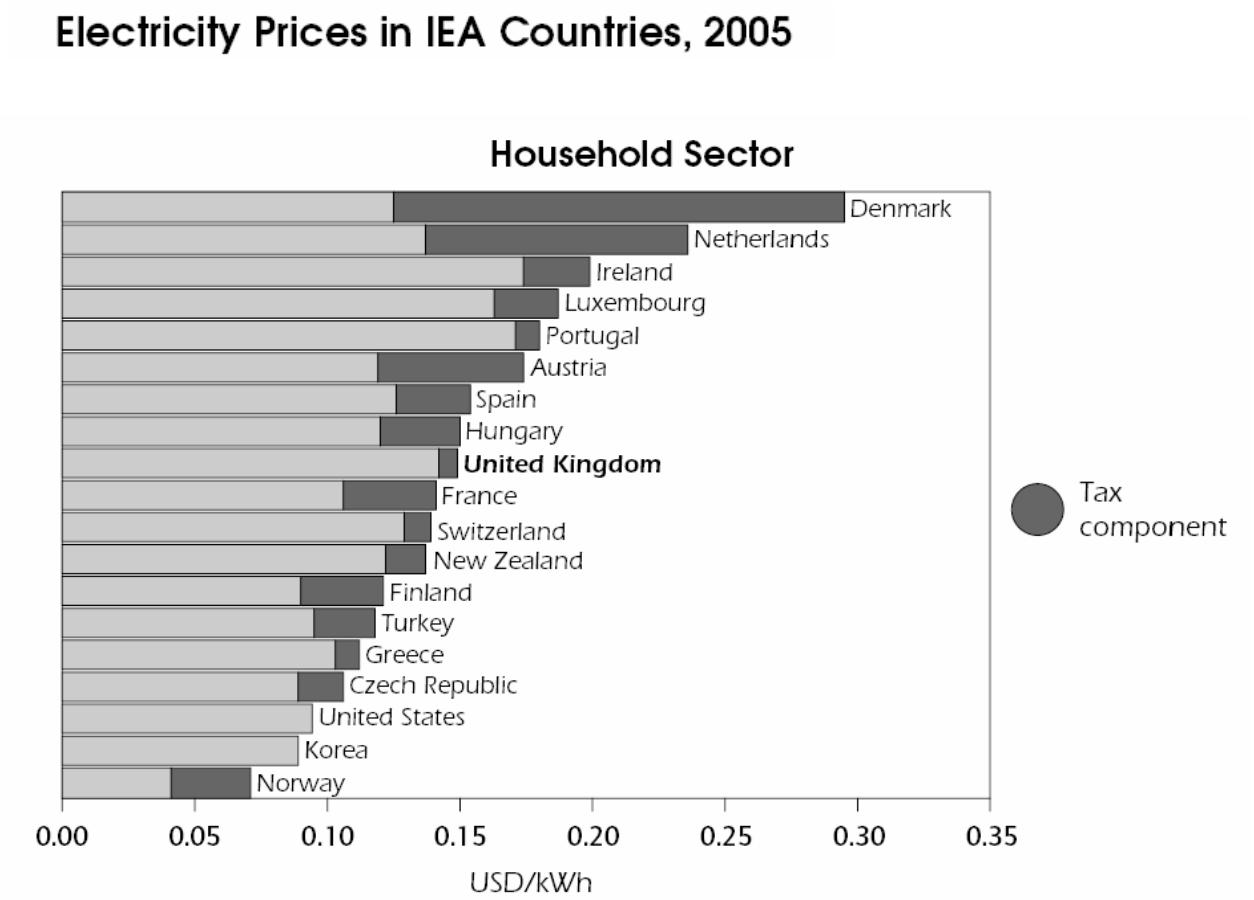
La demanda eléctrica en el RU ha aumentado casi un 50% en los últimos 20 años. El consumo industrial es el que ha experimentado las tasas de crecimiento más bajas, incluso con crecimientos negativos entre 1974 y 1980. El consumo industrial en 1960 era un poco menor al 60%, participación que ha venido decreciendo sostenidamente, llegando en la actualidad a representar un poco menos de un 35%. El consumo comercial, de servicios públicos y agricultura representaba un porcentaje cercano al 15% en 1960, llegando a niveles cercanos al 30% en la actualidad, participación que creció en forma importante entre los años 1974 a 1983. El consumo residencial presenta un porcentaje relativo del total similar al industrial, esto es, del orden de un 35%. Por motivos estacionales el consumo de electricidad llega a niveles máximos durante el invierno, con una demanda máxima cercana a 65 GW. El cuadro a continuación muestra el consumo de electricidad por sector hasta el año 2020, expresado en millones de toneladas equivalentes de petróleo.



* includes commercial, public service and agricultural sectors.
Sources: *Energy Balances of OECD Countries*, IEA/OECD Paris, 2006 and country submission.

Desde la introducción de competencia entre las empresas generadoras en 1991, los precios al detalle de la electricidad en el RU decrecieron en términos reales hasta el año 2003, tanto a nivel industrial como residencial. La reducción en precios reales de la electricidad para la industria fue relativamente suave. La mayor parte de la rebaja en precios a nivel domiciliario ocurrió entre 1996 hasta que se logró la total liberalización competitiva en 1999. En el año 2004 los precios aumentaron levemente, lo que se intensificó en el año 2005 como resultado del aumento en los precios del gas y del carbón, y por la introducción de la reglamentación de la Unión Europea relativa a las transacciones de emisiones de CO2.

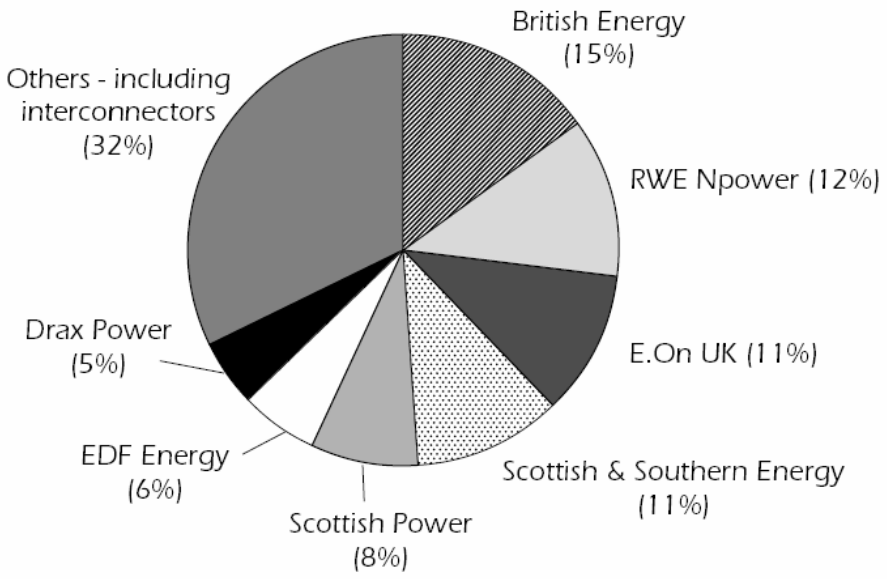
En el RU, durante el año 2004, los precios al detalle de la electricidad para la industria, excluyendo impuestos, se encontraban dentro del tercio más bajo de los países miembros de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) y entre el tercio medio para precios de electricidad a nivel doméstico. Los impuestos de electricidad para consumo domiciliario eran de los más bajos de los países miembros de la IEA.



En 1990/91 el RU fue el primer país miembro de la IEA en embarcarse en un proceso liberalizador de la industria eléctrica. Este proceso ha logrado resultados destacables y ofrece importantes lecciones para otros países. El sector eléctrico ha sido transformado en forma fundamental debido a las presiones crecientes de la competencia. Los mix de tecnología y de combustibles actualmente tienen un aporte mucho mayor de generación en base a gas natural, pese a que todavía es relativamente diverso, que evidencia eficiencia creciente y elevados niveles de confiablidad de suministro. Los consumidores tienen reales oportunidades de elegir al proveedor de electricidad al detalle y han aprovechado esta posibilidad más que casi todos los otros países miembros de la IEA. El establecimiento de una agencia protectora de los consumidores innovadora, Energywatch, ha cumplido un rol muy importante para lograr este propósito. La amenaza de perder clientes genera una efectiva presión competitiva a través de varias partes de la cadena de valor de la electricidad. La actual estructura de la industria eléctrica presenta porcentajes de

mercado bastante parejos a nivel de generación, que evidencia niveles elevados de eficiencia y competencia entre las empresas participantes, como se puede observar en la figura siguiente.

Market Shares of UK Generation Companies, end-May 2005



Source: The Department of Trade and Industry.

Respecto a la preocupación por los efectos de las emisiones de CO2, las directivas de la Unión Europea imponen importantes reducciones de las emisiones, de esta forma se piensa que en los próximos 20 años, las leyes sobre estos contaminantes pondrán restricciones al menos a un tercio del total de la centrales alimentadas por carbón y petróleo, con una pérdida total estimada de alrededor de 30 GW. El Reino Unido tiene por objetivo reducir para el 2010 un 20% del nivel de emisiones de carbono que tenía en 1990.

Un informe gubernamental relativo al futuro de la energía en el RU (Energy White Paper) ha indicado que son tres los aspectos más importantes a tener en cuenta en relación al suministro eléctrico: seguridad de suministro, precios crecientes de los combustibles fósiles y los costos relacionados con la emisión de carbón a la atmósfera. Estos tres aspectos habrían cambiado el panorama económico relativo a la generación de electricidad de bajas emisiones. En el informe indicado se propone la imposición de

restricciones internacionales y en el RU más estrictas a las emisiones de carbón, más esfuerzos en conservación de energía y más apoyo para las energías renovables, llegando a GBP 2.000 millones al año. En forma adicional, en el citado informe se otorga un claro apoyo a las inversiones del sector privado en capacidad de generación de tipo nuclear, de modo que la energía nuclear pueda jugar un rol significativo en el futuro energético del RU. Si se llegara a excluir la energía nuclear de la nueva capacidad requerida de 30 a 35 GWe de los próximos años, esto significará incurrir en mayores costos y un mayor riesgo de suministro de energía.

En abril del 2006, la Confederación Industrial Británica (Confederation of British Industry CBI) emitió un enérgico llamado al gobierno del RU para que clarificara su política de largo plazo relativa a las emisiones de carbón, de modo que las fuentes de bajas emisiones tales como la energía nuclear, pudieran cumplir un rol adecuado. La CBI indicó que las compañías debieran considerar seriamente hacer inversiones en centrales nucleares intensivas en capital, sin necesidad de los subsidios del gobierno, si se estableciera un marco de políticas de largo plazo no discriminatorio. Se requeriría del orden de GBP 50 mil millones para revitalizar la infraestructura de generación del RU al año 2020 con fuentes de generación de bajas emisiones de carbón, pero a la fecha la política al respecto más allá del 2012 es incierta.

La CBI indicó además que “la opción nuclear es la única tecnología de bajas emisiones de carbón que en forma segura y consistente puede suministrar electricidad en gran escala. Además, puede contribuir en forma importante al suministro energético seguro del RU, teniendo en cuenta las sustanciales reservas de uranio disponibles de países políticamente estables, y la capacidad para almacenar importantes reservas de uranio. Los costos de operación de las centrales nucleares son mucho más estables que los de centrales que emplean combustibles fósiles, ya que el combustible representa sólo entre un 5% a un 10% de los costos de generación. Los desechos nucleares no debieran ser una razón para evitar las nuevas inversiones en centrales nucleares.”

A comienzos del año 2008 un nuevo informe oficial relativo específicamente a la energía nuclear (White Paper on Nuclear Power) colocó a la energía nuclear en el centro de los esfuerzos del gobierno del RU por lograr un suministro energético

sostenido, seguro, barato y bajo en emisiones de carbón. El Primer Ministro enmarcó la nueva política en términos de adoptar "acciones firmes de largo plazo para reducir las emisiones de carbón, utilizando la energía nuclear como una tecnología probada y confiable que ha proveído al RU de suministros seguros de electricidad, de bajas emisiones de carbón por medio siglo." "Considerando los desafíos del cambio climático y seguridad de suministro, la evidencia en apoyo de nuevas centrales nucleares es innegable." De acuerdo con esto, el gobierno del RU ha invitado a las empresas de energía a poner en práctica planes para construir y operar nuevas centrales nucleares, además de otras tecnologías de bajas emisiones de carbón, incluyendo las energías renovables, como también posiblemente captura y almacenamiento de carbón de generación en base a combustibles fósiles.

En una acción que ha sorprendido a muchos en toda Europa, Electricite de France (EdF) ha ofrecido recientemente comprar la empresa británica BE, propietaria de las ocho centrales nucleares del RU que no son del tipo Magnox, por un total de US$23,2 mil millones. Si bien a la fecha de redacción del presente informe (13 de octubre 2008) la adquisición no se había concretado, ésta cuenta con la aprobación explícita de los gobiernos de ambos países, y por el lado del RU con la aprobación de los dos mayores accionistas, el gobierno del RU y la empresa de fondos de inversión INVESCO. Si esta compra llegara a concretarse convertiría a EdF en la mayor operadora a nivel mundial de centrales nucleares, demostrando su clara supremacía en operación de centrales de este tipo.

Las centrales nucleares en el reino unido

En 1953 el Gobierno Británico aprobó la construcción de los primeros reactores basados en energía nuclear. En 1955 se anunciaba el primer programa estrictamente comercial de uso de energía nuclear, con la construcción de 2000 MWe de capacidad mediante reactores nucleares tipo Magnox. Por otro lado, la crisis de Suez 1956 acentuó la preocupación en el RU por la escasez de carbón y petróleo, y el programa nuclear se agilizó. La primera aplicación comercial de los reactores de energía nuclear en el mundo fue la puesta en marcha en el Reino Unido de la central de Calder Hall en 1956. La decisión de construir ese tipo particular de reactor en Calder Hall se tomó

tempranamente a partir de su uso primario para la producción de plutonio de calidad militar para fabricación de bombas, como también para servir de prototipo de centrales de generación de electricidad, pese a la necesidad de recambio frecuente de combustible. Asimismo, no había capacidad disponible para enriquecimiento de uranio para generación eléctrica, y cualquier programa civil debía confiar en la existencia de material utilizable inmediatamente tal como grafito para el moderador, CO2 como refrigerante y aleación de magnesio inoxidable (MAGNOX) para su empleo en las vainas de combustible en base uranio natural.

Los primeros ocho reactores Magnox eran pequeños prototipos y originalmente cumplían un rol dual, combinando la generación de electricidad con la producción de plutonio para fines militares. Pese a ello, la función militar fue traspasada a otras instalaciones ubicadas en Windscale, y los reactores Magnox fueron reconfigurados sólo para generar electricidad. Emplean uranio natural metálico como combustible, tienen moderador de grafito, y son refrigerados por CO2, todo lo cual hace que el tamaño de su núcleo sea muy grande. Por las características químicas de las vainas del combustible, hechas de magnesio, el combustible ya utilizado ("quemado") no se puede almacenar en forma permanente y se hace imperativo su reprocesamiento. Las unidades Magnox siguientes fueron optimizadas, llegando a producir 10 veces más energía que las originales, llegándose a construir un total de 26 en el RU. Dos reactores Magnox fueron vendidos a Japón e Italia, y unidades similares fueron construidas en Francia.

Los reactores Magnox fueron licenciados originalmente para 30 años, pero en algunos casos esto fue extendido hasta 50 años debido a lo robusto de su ingeniería. Pese a ello todos estos reactores serán decomisionados en el año 2011. Los últimos cuatro en operación en Wyfla y Oldbury poseen masivas vasijas de presión de concreto, y las vasijas de presión se encuentran en el interior de las mismas, lo que proporciona un elevado grado de seguridad. A pesar de esto, las unidades de Oldbury han tenido problemas con pérdida de masa de grafito del moderador, por lo cual se tiene contemplado su cierre definitivo a fines del 2008.

La segunda generación de reactores británicos fueron los Reactores Avanzados Refrigerados por Gas (AGR Advanced Gas-cooled Reactor), basados en un prototipo

erigido en Windscale en 1962. En 1964 el AGR fue adoptado como el reactor estándar del RU y se construyeron 14 en siete sitios en el RU, comenzando entre 1976 y 1989. Este tipo de reactores es exclusivo del RU, también emplean grafito como moderador y CO2 como refrigerante, pero utilizan uranio levemente enriquecido, el cual se "quema" hasta bajos grados de quemado en comparación al que se puede lograr en reactores refrigerados por agua. Pese al interés por lograr la estandarización, el diseño de cada par de reactores era único por lo cual existió un bajo grado de estandarización, y se presentaron serios problemas operacionales. Tal como los reactores Magnox, los AGR fueron diseñados y construidos por consorcios industriales privados de energía nuclear, en la forma de estaciones de generación completas.

En 1978 se tomó la decisión de construir el primer reactor de agua presurizada (PWR) del RU. Esta gran central de 1200 MWe, basada en el diseño Westinghuose de los EE.UU., entró en operación en 1995 y se pretendía que fuera la primera de un total de cuatro.

La Agencia de Energía Atómica del RU, UKAEA, ha operado dos reactores reproductores rápidos en Dounreay, incluyendo el Reactor Prototipo Rápido de 254 MWe entre 1974 y 1994.

En el año 2006 BE (British Energy) decidió el cierre de cuatro AGR debido a la degradación de los generadores de vapor, en la zona no nuclear de la planta. Se pretendía que después de algunos meses se volvería a reencender las centrales, pero la aprobación para ello no fue otorgada hasta mayo del año 2007, decidiéndose la operación degradada de los cuatro reactores a un 70% de la potencia inicial de diseño. Una decisión de diciembre del año 2007, relativa a la extensión de vida operativa de cinco años adicionales hasta el año 2016, involucró el compromiso de invertir GBP 90 millones adicionales a los GBP 150 millones del programa original, para permitir que la extensión de operaciones fuera autorizada. La extensión adicional de vida operativa será considerada en el 2013, y se espera que sea otorgada si es que los precios de la electricidad se mantienen altos. La posible extensión de vida operativa de los otros AGR será analizada caso a caso al menos tres años antes que la fecha planificada de cierre de cada unidad.

En la actualidad el RU tiene 19 reactores en operación, con una potencia instalada de 11 GWe, que en el 2007 generaron un 15% del total de la electricidad consumida.

Tabla A.2.13: Reactores de Potencia en Operación en el Reino Unido

Reactor	Tipo	Potencia Neta c/u	Inicio Operación	Cierre esperado
Oldbury 1 & 2	Magnox	217 MWe	1968	Dic 2008
Wylfa 1 & 2	Magnox	490 MWe	1971-72	Dic 2010
Dungeness B 1 & 2	AGR	545 MWe	1985-86	2018
Hartlepool 1 & 2	AGR	595 MWe	1984-85	2014
Heysham 1 & 2	AGR	615 MWe	1985-86	2014
Heysham 3 & 4	AGR	615 MWe	1988-89	2023
Hinkley Point B 1 & 2	AGR	620 & 600 MWe*	1976-78	2016
Hunterston B 1 & 2	AGR	610 & 605 MWe*	1976-77	2016
Torness 1 & 2	AGR	625 MWe	1988-89	2023
Sizewell B	PWR	1196 MWe	1995	2035
Total (19)		11,035 MWe		

* Operando a 70% de capacidad en forma indefinida.

Por motivos de antigüedad, al 2023, con la sola excepción del único reactor PWR, los restantes 18 deberán ser decomisionados; por esto, el Gobierno del RU ha manifestado públicamente su interés por incorporar a futuro plantas nucleares de nueva tecnología, la primera de las cuales debiera entrar en servicio en el año 2017. Esta política se ha visto reforzada por la preocupación oficial relativa a la emisión de gases de efecto invernadero que generan las plantas que consumen combustibles fósiles.

La generación eléctrica de origen nuclear en el RU en el año 2006 fue de 69,2 (TWh), casi el 19% de toda la energía eléctrica producida (385,7 TWh), la cual en 2007 se redujo a 57,5 TWh. La producción total del 2006 se dividió en 303,6 TWh producidos por combustibles fósiles (74%), 8,5 TWh por centrales hidroeléctricas y 4,4 TWh de

energía solar, eólica, geotérmica y otras fuentes. La importación neta de energía eléctrica es aproximadamente de 8 TWh, que equivale a un 3% del consumo total; esta energía eléctrica importada corresponde a energía francesa de origen nuclear, por lo que el consumo eléctrico de origen nuclear es cercano al 21% del total.

Las centrales nucleares se están poniendo cada vez más antiguas y muchas de ellas deberán ser retiradas en el mediano plazo. En el 2006 fue necesario dejar fuera de servicio las centrales tipo Magnox Dungeness A y Sizewell A. Si bien muchas centrales tipo AGR muy posiblemente sean operadas más allá de su vida esperada original de servicio, con cierres cercanos al 2020 y 2025, solamente la central de Sizewell B, el único reactor tipo PWR de 1.200 MWe conectado a la red en 1995, continuará en servicio después del 2030. A pesar de que las centrales nucleares en operación han demostrado desempeños técnicos y económicos buenos y crecientes en el contexto del mercado eléctrico liberalizado del RU, desde fines de los años 80 no se ha puesto orden de construcción alguna por nuevas centrales nucleares.

Si bien la industria nuclear del RU se ha mantenido activa en varios segmentos del ciclo de combustible nuclear, actualmente no posee la capacidad de diseñar y construir reactores nucleares. A pesar de la decisión del Gobierno del RU de unirse al Generation IV International Forum (GIF, organización destinada al desarrollo de reactores nucleares de cuarta generación), el esfuerzo público en investigación y desarrollo (IyD) en el área nuclear es extremadamente bajo, congruente con la política oficial de confiar en la industria privada para la realización de IyD.

Teniendo en cuenta el importante papel que la energía nuclear tiene en la lucha contra las emisiones de CO2 en el RU, el Gobierno de ese país ha decidido otorgar una importancia creciente a la renovación de su parque nuclear.

Futuras Centrales Nucleares

En marzo del 2006, la Comisión de Desarrollo Sustentable (Sustainable Development Commission, SDC) elaboró un informe indicando la conveniencia de que el RU continuara con la generación eléctrica de origen nuclear. El informe no encontraba aconsejable que se le prohibiera a los inversionistas privados la construcción de centrales nucleares, pese a lo cual sostenía que se dudaba de ello si

no se contaba con apoyo del gobierno. La SDC citó cinco desventajas de la energía nuclear: i) falta de una solución de largo plazo para los desechos, ii) elevados costos y elevada incertidumbre acerca de los mismos, iii) falta de flexibilidad, iv) efecto detrimente sobre la eficiencia energética, y v) riesgos internacionales de seguridad.

El Comité de Energía (Energy Review) en su informe de julio de 2006 titulado "El Desafío Energético" al referirse a la energía nuclear indicó que "es una fuente importante de electricidad de bajas emisiones de carbón, y que nuevas centrales nucleares significarían una contribución importante a que el país logre cumplir los objetivos de la política energética." Esta actitud positiva se debería a los elevados precios proyectados de los combustibles fósiles y a la introducción de un costo adicional por las emisiones de carbón.

En el 2006 se llevó a cabo una revisión de la política energética, la cual puso a las centrales de energía nuclear firmemente de regreso en la agenda nacional, debido tanto a las preocupaciones de seguridad energética como a la necesidad de limitar las emisiones de carbón. Todas las nuevas centrales deberán ser financiadas y construidas por el sector privado, internalizando los costos de manejo de residuos radiactivos y decomisionamiento de las centrales. En noviembre del 2006 el Primer Ministro indicó al Parlamento que el RU debía poner nuevamente la energía nuclear en la política energética, al menos para reemplazar las centrales que deberán cerrar por su antigüedad, ya que sin ellas no le sería posible al país cumplir con los objetivos relativos al cambio climático y los objetivos relativos al suministro asegurado de energía. El apoyo del gobierno a la construcción de nuevas centrales nucleares fue confirmado en enero del 2008.

A mediados del 2007 el poder legislativo presentó un informe, abordando la posibilidad de la creación de una nueva generación de centrales nucleares y dando a conocer una posible estrategia energética para el mediano y largo plazo. Incluso el ministro de la época, Tony Blair, expresó su apoyo a esta medida diciendo que es "necesaria para asegurar el suministro energético y reducir las emisiones de CO2 en Reino Unido". Además alertó sobre el riesgo de la dependencia de gas y petróleo diciendo que "La política energética está adquiriendo una importancia estratégica que será tan crucial para nuestro país como es la defensa".

En relación a la nueva política del gobierno relativa a nuevas construcciones nucleares, a comienzos del 2007 British Energy (BE) llamó a los potenciales socios comerciales privados a invertir en nuevas centrales nucleares. En su oportunidad tanto E.On como Electricite de France (EdF) expresaron interés por construir nuevas centrales nucleares en el RU, lo cual por motivos prácticos sería llevado a cabo en sitios existentes controlados por BE o por British Nuclear Group.

Areva, la empresa francesa de construcción de centrales nucleares, ha dicho que podría construir nuevas centrales a contar del 2017 si se mejorara los procedimientos de planificación y el gobierno del RU adoptara decisiones definitivas referidas al manejo de desechos nucleares.

Los estudios de costo-beneficio realizados por el gobierno del RU han utilizado una cifra estimada de GBP 1.250 / KW para inversiones inmediatas en centrales nucleares de nueva generación, estimando que una central de 1.600 MWe costaría del orden de GBP 2.800 millones, con costos estimados de generación de 3,64 centavos GBP/KWh. Con los procedimientos actualmente en vigencia el gobierno del RU ha estimado que el período de pre desarrollo y de planificación podría durar del orden de 5,5 años, de modo que las nuevas centrales podrían comenzar a construirse a contar de mediados del 2013, esperándose que varias nuevas centrales se encuentren en operación al año 2020.

Con posterioridad a los anuncios hechos por el gobierno del RU, Areva indicó que con la ayuda de seis de las mayores empresas de generación de Europa, las cuales serían EdF, British Energy, E.On, Iberdrola, RWE npower y Suez, podría llegar a construir en el RU entre cuatro a seis centrales nucleares, sujeto al pre licenciamiento de su central estandarizada European Presurized Reactor (EPR) de 1.600 MWe, la cual fue licenciada a nivel de diseño en Francia el 2004. Por su parte EdF indicó que estaba planificando la construcción de cuatro EPR en el RU. La empresa Westinghouse anunció en mayo del 2007 que con la ayuda financiera de seis grandes empresas de generación europeas, dentro de las cuales se encontraría BE y E.On, estarían financiando el pre licenciamiento en el RU de su central AP1000, la cual está basada en un diseño certificado en el año 2005 en los EE.UU. GE-Hitachi Nuclear Energy también ha solicitado el pre licenciamiento de su reactor de agua en ebullición ESBWR,

apoyados por Ibedrola, RWE npower y BE. Cada evaluación de pre licenciamiento demorará del orden de 3,5 años, después de los cuales a nivel del RU se espera pasar a la etapa siguiente de licenciamiento completo y construcción final. En el caso del EPR de Areva, las agencias británicas responsables del licenciamiento de centrales, la Office for Civil Nuclear Security, la Health and Safety Executive y la Environmental Agency, estarían trabajando en cercana colaboración con la agencia francesa de licenciamiento ASN, con el fin de no duplicar esfuerzos de trabajo de licenciamiento hecho en otros países. De igual forma se estaría trabajando con la agencia de los EE.UU. responsable de licenciar reactores.

BE controla muchos de los potenciales sitios para el emplazamiento de nuevas centrales, en aquellas ubicaciones donde se encontraban los antiguos reactores Magnox ya desmantelados. Esto facilitará la interconexión de las nuevas centrales al sistema interconectado del RU y además facilitará la tramitación de los permisos de construcción en sitios ya aprobados con anterioridad para la instalación de reactores nucleares. Por lo anterior, los sitios potenciales podrían ser: Sizewell, Dungeness, Bradwell y Hinkley. E.On ha hecho lo propio con el sitio de Oldbury para una central de 1.600 MWe. La agencia nacional de decomisionamiento de centrales NDA ha ofrecido terrenos para la venta en Oldbury, Bradwell y Wylfa, en los cuales sería posible la instalación de nuevas centrales nucleares.

A.5.2 Marco Legal y Regulatorio

The Atomic Energy Authority Act de 1954

Esta ley fundó la United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA), con la responsabilidad de llevar a cabo el programa nuclear del RU, y ejecutar la investigación y desarrollo de todos los aspectos no militares de la energía nuclear. De igual manera se estableció la facultad de contratar a la empresa privada para llevar a cabo investigación y desarrollo, como también la provisión de servicios de ingeniería y especializados en energía nuclear. En 1996, como parte de la privatización de la industria nuclear, la función de investigación fue separada en una nueva empresa AEA Technology, privatizada en ese entonces. En la actualidad la UKAEA administra sus

instalaciones nucleares y es responsable del decomisionamiento de instalaciones y de maximizar el retorno de las propiedades que administra.

Nuclear Installations Act de 1965 y correcciones posteriores

El principal cuerpo legal regulatorio de la energía nuclear en el RU es la Nuclear Installations Act de 1965, la cual gobierna la autorización, el licenciamiento, la construcción y operación segura de las centrales nucleares e instalaciones donde se emplee materiales radiactivos. Este cuerpo legal es administrado o puesto en acción por la Health and Safety Executive's Nuclear Installations Inspectorate (NII, Inspectoría de Instalaciones Nucleares).

Atomic Energy Authority Act de 1971

Como parte de la reorganización de la UKAEA, esta ley estableció a British Nuclear Fuels Plc. (BNFL) como una empresa privada, la cual pasó a llevar a cabo todas las actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear que originalmente llevaba a cabo la UKAEA. En la actualidad BNFL provee la gama completa de servicios relacionados con el ciclo de combustible nuclear en el RU, como también para interesados del extranjero. En 1994 puso en marcha la planta THORP , para el reprocesamiento de combustibles “quemados” de óxidos tanto para empresas locales como de interesados del extranjero.

Atomic Energy Act de 1989

Establece modificaciones a la ley de 1965, y define las responsabilidades relativas a las licencias de las instalaciones nucleares, las responsabilidades derivadas de actos fortuitos de carácter nuclear (accidentes) y los seguros comprometidos para ello. Define que la Dirección Ejecutiva de Salud y Seguridad debe mantener financieramente la Inspectoría de Instalaciones Nucleares (NII) para efectos de las inspecciones y licencias.

Radioactive Substances Act de 1993

Elimina y actualiza lo establecido en la Radiactives Substances Act de 1948, la Radiactive Substances Act de 1960 y modifica otras leyes relacionadas con los materiales radiactivos. Esta ley regula la posesión y uso de materiales radiactivos, el empleo de los aparatos radiactivos móviles, como también gobierna el manejo, la acumulación, el vertimiento al medioambiente y la disposición de desechos radiactivos.

Atomic Energy Authority Act 1995

Otorga derechos y responsabilidades para la transferencia de propiedades, derechos, pasivos e instalaciones de tipo nuclear a privados y organizaciones del estado que se estime necesario. Con esta ley la United Kingdom Atomic Energy Authority pudo privatizar instalaciones de tipo nuclear y transferirlas a terceros para su explotación, imponiendo responsabilidades contractuales a los receptores de tales bienes e instalaciones.

Nuclear Safeguards Act de 2000

Ley que establece las obligaciones relacionadas con la información a ser entregada y recopilada por el gobierno del RU en relación a las actividades de tipo nuclear que se lleven a cabo en el RU. Ley que pone en efecto las responsabilidades adquiridas por el gobierno del RU en relación a la aplicación de salvaguardias del Tratado para la No Proliferación de Armas Nucleares firmado en Viena el 22 de septiembre de 1998 por el RU.

Nuclear Industries Security Regulations Act de 2003

Ley establecida para consolidar y mejorar las regulaciones de seguridad de la industria nuclear civil, que incluye la seguridad de las instalaciones nucleares, la seguridad en el transporte de materiales nucleares y la seguridad de información nuclear clasificada como sensible por organismos de seguridad del estado. Establece la obligatoriedad que los sitios donde se lleve a cabo actividad nuclear deben contar con un plan de seguridad que establezca los procedimientos para evaluar las capacidades físicas de asegurar la protección, y la evaluación del personal para asegurar que posee las habilidades necesarias para el manejo de material nuclear.

Define la forma en la cual las instalaciones nucleares deben ser custodiadas y protegidas por personal policiaco, y las actividades a llevar a cabo en caso de intentos de sabotaje, ataque o robo de tales instalaciones.

Estructura Institucional

La UKAEA, establecida en 1954 fue la organización original responsable por las centrales nucleares, y la investigación y desarrollo en temas de industria nuclear civil. Fue la UKAEA que comisionó los primeros reactores de la década de los años 50. Esta responsabilidad posteriormente fue traspasada al Central Electricity Generation Board en Inglaterra y Gales, y a la South of Scotland Electricity Board, ambas entidades dedicadas a la generación de electricidad.

La Nuclear Decommissioning Authority (NDA Agencia de Decomisionamiento Nuclear) fue fundada mediante la Energy Act de 2004. Es la organización encargada de llevar a cabo la limpieza de los 20 sitios, 39 reactores, cinco plantas de reprocesamiento, y otras instalaciones relacionadas con el ciclo de combustible e investigación que históricamente generaron desechos nucleares en el RU. Estas instalaciones originalmente eran de responsabilidad de la UKAEA y BNG, esta última la división de decomisionamiento y limpieza de BNFL. En abril del 2005 la NDA asumió toda la responsabilidad por los activos y pasivos de tales organizaciones, a contar de lo cual BNG se transformó en administrador y subcontratista de la NDA. Los activos incluían plantas y fondos de decomisionamiento de BNF. Los montos considerados para las actividades de la NDA eran de un total de GBP 73 mil millones a lo largo de muchos años, con algo más de mil millones de GBP anualmente los 10 a 15 primeros años. La NDA tiene un presupuesto anual cercano a los GBP 2.800 millones, de los cuales aproximadamente mil millones provienen de ingresos operacionales obtenidos a partir de sus actividades y servicios.

El Secretario (Ministro) de Comercio e Industria es el responsable ante el Parlamento por la seguridad de las centrales nucleares y de las otras instalaciones nucleares civiles en el RU. En materia de seguridad de las instalaciones nucleares tal Secretario es asesorado por la Comisión de Salud y Seguridad (HSC), ente

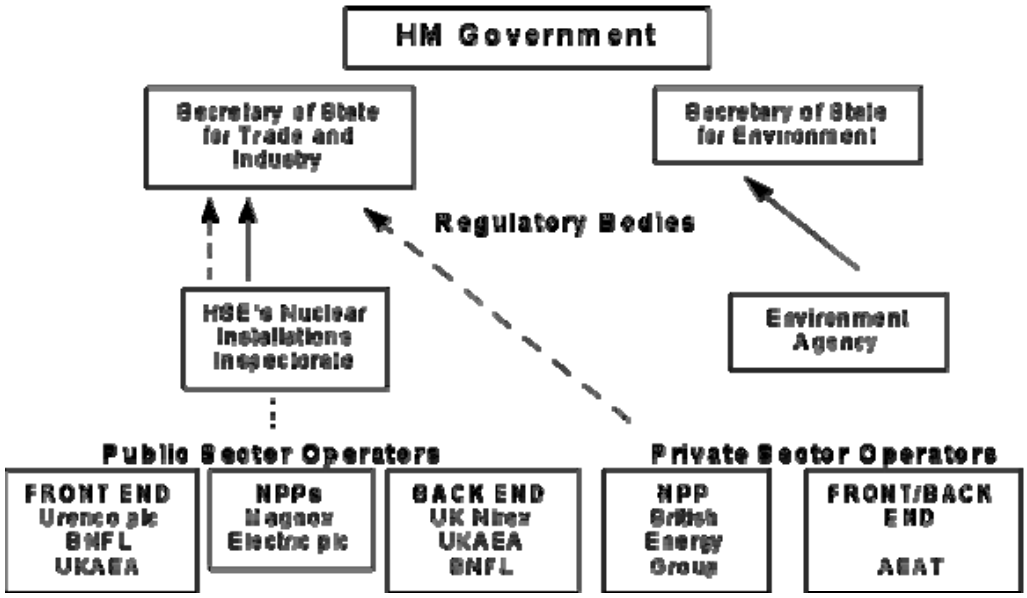
independiente que tiene la responsabilidad oficial de asegurar que exista un adecuado marco regulatorio relativo a la seguridad de las instalaciones nucleares en el RU. El licenciamiento y las inspecciones de rutina son realizados por el HSE (Health and Safety Executive, Dirección de Salud y Seguridad) a través de su agencia Nuclear Installations Inspectorate (Inspectoría de Instalaciones Nucleares), órgano que regula la seguridad nuclear en la forma de licencias, con consideraciones que abarcan el diseño, la construcción, operación, mantenimiento y decomisionamiento de instalaciones nucleares. Tanto la HSC como el HSE rinden cuenta y son responsables ante el Secretario de Comercio e Industria por su trabajo relativo a la seguridad nuclear.

En junio del 2006, la Dirección Ejecutiva de Salud y Seguridad del RU (UK's Health & Safety Executive), la cual otorga las licencias de operación de los reactores nucleares a través de la Inspectoría de Instalaciones Nucleares (NII, Nuclear Installations Inspectorate) propuso un sistema de otorgamiento de licencias similar al usado en los EE.UU. Considerando reactores de tercera generación, se adoptará un sistema de autorización de diseño genérico para cada tipo, seguido por licencias específicas para cada sitio. La Etapa 1 se enfocará en seguridad y tomará del orden de tres años, mientras que la Etapa 2 se centrará en el sitio y el operador, y tomará del orden de un año o menos, además de los permisos de planificación del proyecto. La Agencia de Protección del Medioambiente del RU anunció lo mismo ese día.

La tarea de la Agencia de Protección del Medioambiente (APM), definida como una autoridad especial de salud en el 2003, es de establecer un sistema integral de protección de la salud pública del RU a través de la entrega de apoyo y asesoría a la NHS (National Health Service, Servicio Nacional de Salud), autoridades locales, servicios de emergencia, otras agencias del área de la salud, el Ministerio de Salud y las organizaciones de Escocia, Gales e Irlanda del Norte a las cuales les ha sido traspasada la responsabilidad por la seguridad local respectiva (Devolved Administrations). En abril del 2005 la APM asumió las responsabilidades que previamente le correspondían a la Agencia de Protección de Salud (HPA), y al Directorio Nacional de Protección Radiológica (NRPB), incorporando como parte de sus responsabilidades la protección radiológica, considerada como parte de protección de la

salud. La HPA tenía una pequeña oficina central en Londres, y una extensa red de aproximadamente 3.000 empleados focalizados en tres centros nacionales importantes (Colindale, Porton y Chilton), y otros centros menores regionales y locales distribuidos por toda Inglaterra; trabajaba además estrechamente con las agencias de seguridad de las otras regiones del Reino Unido (Devolved Administrations). En la ciudad de Chilton funciona el Centro para Peligros de la Radiación, Químicos y Ambientales (Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards), el cual lleva a cabo actividades en temas de radiaciones ionizantes y no ionizantes, protección acerca de estas radiaciones, provee servicios de laboratorio y técnicos, lleva a cabo cursos de entrenamiento, provee información experta y juega un importante papel asesor dentro del RU.

La figura a continuación muestra la estructura general del programa nuclear del Reino Unido.



A.5.3 Tecnología: Especificaciones generales y proveedores

Proveedores de Equipos y otros servicios

Si bien originalmente en el RU se diseñaba y construía reactores nucleares de potencia, los últimos desarrollados con capacidad propia fueron los AGR, de los cuales ya no se ha construido más unidades, como tampoco se tiene considerado construir nuevas unidades de este tipo a futuro. El reactor PWR Sizewell B es de diseño Westinghouse y su vasija de presión fue fabricada en Francia a mediados de los años 80. Por este motivo la capacidad de construcción de reactores del RU ha prácticamente desaparecido, excepto los reactores PWR de pequeño tamaño para submarinos nucleares que todavía se fabrican en el RU por Rolls Royce Marine.

Los servicios proporcionados por AEA Technology (Atomic Energy Agency Technology), British Energy, British Nuclear Fuels, y muchas otras empresas menores, cubren un amplio rango de actividades. Estas actividades incluyen suministro de componentes, suministro de combustible, reprocesamiento de combustible, servicios de manejo de desechos radiactivos, y aspectos relacionados con ingeniería de reactores avanzados.

En el RU se llegó a operar dos reactores reproductores rápidos (fast breeder reactors) en Dounreay, Escocia, ninguno de los cuales a la fecha se encuentra operativo.

En septiembre del 2008 el gobierno del RU dio a conocer una nueva política industrial, centrada en la cadena de suministro de la industria nuclear. El Departamento para Negocios, Empresas y Reforma Regulatoria indicó que estaba ofreciendo GBP 150 millones para promover la manufactura en el RU para poner al país en la frontera de las actividades destinadas a alcanzar una economía de bajas emisiones de carbón. La nueva política industrial intenta apoyar por un lado que las necesidades de nuevas construcciones de centrales nucleares del RU sean satisfechas, como también la capacidad de exportar capacidad nuclear. La recientemente creada Oficina de Desarrollo Nuclear deberá trabajar con los socios de la industria para desarrollar la cadena de suministro de la industria nuclear.

Proveedores para la operación y mantención

Con motivo de la privatización de la industria nuclear en los años 90, los reactores AGR y el único PWR existentes en el RU actualmente son de propiedad de y son operados por British Energy (BE) a través de sus subsidiarias. Los seis reactores Magnox que todavía se encuentran en servicio en Inglaterra y Escocia fueron transferidos a la empresa British Nuclear Fuels (BNFL), la cual es la propietaria y operadora de los mismos. Esta última empresa se encuentra en el proceso de decomisionamiento de otros cinco reactores Magnox que se encuentran fuera de servicio.

Con la excepción del diseño y construcción de reactores de nuevo diseño y alta potencia, la industria nuclear del RU es capaz de proveer equipos, reparar y mantener la totalidad de las instalaciones existentes. En el RU se domina el ciclo completo de combustible nuclear, lo que le permite total disponibilidad de elementos combustibles para los varios diseños de reactores que se operan en el RU actualmente. Si se agrega la capacidad de la industria nuclear asociada a la defensa, contarían con la capacidad de diseñar y fabricar reactores PWR de pequeño tamaño, adecuados para un submarino nuclear pero no para una central de potencia de alta capacidad.

Como parte de la Unión Europea, el RU tiene acceso a toda la capacidad nuclear de la industria europea, dentro de la que destaca la capacidad de Francia para estos efectos. De hecho, la vasija del reactor PWR de Sizewell B fue fabricada en Francia.

En enero del 2008, British Energy inauguró un moderno centro de entrenamiento para los operadores y mantenedores de sus instalaciones nucleares, la “Nuclear Power Academy”. El centro de entrenamiento tuvo un costo de GBP 3,5 millones y permitirá el entrenamiento de 2.500 personas al año en sus cerca de 80 cursos. La academia incluye simuladores de centrales de control de reactores, talleres para equipamiento de control e instrumentación, entrenamiento mecánico y eléctrico. El centro cuenta con un total de 40 instructores de dedicación exclusiva y sus programas y actividades se basan en los estándares establecidos por el Institute of Nuclear Power Operations de los EE.UU. Además de esta instalación central, en cada una de las centrales nucleares BE

tiene sus propias instalaciones de entrenamiento para actividades específicas de cada sitio. La empresa cuenta con su propio sistema de acreditación para el entrenamiento de sus trabajadores.

El ciclo de Combustible Nuclear

En el RU se llevan a cabo casi todas las actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear, con la excepción de minería de uranio. Estas actividades incluyen: refinación, conversión, enriquecimiento, fabricación de UO2 cerámico, fabricación de combustible para diferentes tipos de reactores tanto locales como extranjeros, transporte, almacenamiento y tratamiento de materiales radiactivos, decomisionamiento de instalaciones nucleares y restauración de sitios a su condición original (site remediation and clean up). La industria nuclear del RU tiene la capacidad de reprocesar combustible nuclear "quemado", tanto para interesados locales como para empresas fuera del RU. Estas capacidades se han logrado desarrollar a lo largo de los más de 50 años de actividad de la industria nuclear de ese país, lo que lo convierte en casi independiente en la satisfacción de sus necesidades relativas al combustible nuclear. La empresa encargada de estas actividades es BNFL, la cual es totalmente de propiedad del gobierno y emplea aproximadamente 10.000 personas. BNFL fue formada en 1971 a partir de las actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear que llevaba a cabo la UKAEA. En el 2004 muchas de las actividades que llevaba a cabo BNFL fueron asumidas por la subsidiaria British Nuclear Group (BNG).

Muchas de las actividades que BNFL llevaba a cabo han sido privatizadas en la forma de unidades de negocio independientes, las cuales han pasado a proveer servicios a otras empresas como también a BNFL y sus subsidiarias. Uno de tales casos es el de la filial dedicada al decomisionamiento de instalaciones, Project Services Ltd. En junio del 2007 BNFL vendió la subsidiaria Reactor Sites Management Company (RSMC) a una empresa de los EE.UU., dentro de lo cual se incluyó la empresa Magnox Electric, responsable de la operación de diez sitios de operaciones nucleares y 22 reactores en el RU, como también se traspasó la responsabilidad del decomisionamiento de tales instalaciones.

El enriquecimiento se lleva a cabo por parte de la empresa Urenco Capenhurst, subsidiaria de la empresa anglo-holandesa-alemana de igual nombre, que opera plantas de enriquecimiento en tres países utilizando la tecnología de centrífugas. Esta empresa es de propiedad parcial del gobierno del RU.

El combustible nuclear quemado de los reactors Magnox y AGR del RU, como de reactores de agua ligera del extranjero, es reprocesado en Sellafield, en la planta THORP, que comenzó sus operaciones en 1994. En el 2005 en la planta THORP se descubrió una filtración de combustible nuclear disuelto en ácido nítrico, sin consecuencias para el público, el cual fue controlado pero causó el cierre temporal de la planta por un período de tres años. También en Sellafield opera la planta de combustible mixto (MOX) que mezcla uranio con plutonio recuperado del reprocesamiento de combustible quemado, para ser vendido a empresas que operan reactores en Suiza, Japón y Alemania. En octubre del 2007 la NDA (Nuclear Decommissioning Authority) presento un estudio relativo al reprocesamiento y reutilización de material reprocesado, indicando que a los precios del año 2007 del uranio era económicamente aconsejable el reprocesamiento y la producción de MOX, teniendo en cuenta todos los costos de largo plazo asociados con el manejo y disposición final de los desechos nucleares.

La mayor parte de los residuos nucleares de baja actividad (LLW) se almacena en las instalaciones de BNFL ya sea en Drigg o Dounreay. Los desechos de actividad media (ILW) se almacenan en las mismas instalaciones en espera de decaimiento y el establecimiento de un repositorio profundo. Los desechos de alta actividad (HLW) se almacenan en la planta de BNFL Sellafield, ya sea en su forma original o en condición de vitrificado, en espera del repositorio profundo, por un período de 50 años.

En Julio del 2008 la NDA anunció que las responsabilidades de administración del complejo industrial nuclear de Sellafield y las instalaciones asociadas habían sido transferidas a una empresa privada internacional, de la cual uno de los socios es Areva de Francia. A esta empresa se le paga un monto anual de GBP 1,7 mil millones, además de GBP 50 millones de premios por buen desempeño en la ejecución de las

tareas que le corresponda realizar, con el fin de decomisionar las instalaciones en desuso que se encuentran en Sellafield, como otras que caso a caso se estime pertinente.

A.5.4 Seguridad Nuclear y Protección Radiológica

Seguridad Nuclear

La seguridad de las instalaciones nucleares en el RU, y la protección de empleados, trabajadores y el resto de la ciudadanía de las amenazas potenciales provenientes de las mismas, se establecen principalmente a partir de lo indicado en la Ley de Instalaciones Nucleares de 1965, la Ley de Salud y Seguridad en el Trabajo de 1974, la Regulación sobre Radiaciones Ionizantes de 1999 derivada de la última, y la Ley de Sustancias Radiactivas de 1993. Ningún sitio puede ser usado para la construcción u operación de una instalación nuclear comercial a no ser que se haya extendido el permiso adecuado correspondiente, y se haya otorgado la licencia para sitio de carácter nuclear por parte de la Dirección Ejecutiva de Salud y Seguridad (HSE). La Inspectoría de Instalaciones Nucleares (NII) es la unidad dependiente de la HSE a la cual se ha delegado la responsabilidad de administrar las funciones de licenciamiento de instalaciones nucleares, y es además la responsable de la supervisión de operaciones de manejo de desechos nucleares en los sitios previamente licenciados.

La NII no otorgará la licencia de sitio nuclear a no ser que se tenga la certeza de que el potencial operador tiene la capacidad de cumplir con todas las estrictas exigencias de seguridad desde el diseño al decomisionamiento, danto cumplimiento a las condiciones de la licencia establecidas para la licencia de sitio nuclear. De tal modo, para demostrar a la NII que la seguridad será adecuadamente controlada en todas las etapas del ciclo de vida de las instalaciones en el sitio licenciado, el operador debe elaborar un detallado informe escrito de seguridad para cada planta. Tal informe de seguridad específico debe ser revisado y actualizado continuamente a lo largo de la operación de la planta, para tener en consideración todos los posibles cambios que ocurran en las instalaciones físicas y en las condiciones operacionales de la planta. También se debe

elaborar y mantener actualizado un informe de seguridad con antecedentes similares para el decomisionamiento de la instalación.

Seguridad física de las instalaciones nucleares

La Oficina para Seguridad Nuclear Civil (Office for Civil Nuclear Security, OCNS), dependiente de la Dirección Nuclear1, es el ente regulador en materias de seguridad física (security) para la industria civil del RU. Es responsable de aprobar las actividades de seguridad física dentro de la industria nuclear y obligar el cumplimiento de las mismas. La OCNS lleva a cabo sus actividades regulatorias por mandato del Ministerio de Negocios, Empresas y Reforma Regulatoria (Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform , DBERR, sucesor del Departamento de Comercio e Industria). La OCNS también veta a personal de la industria nuclear acceso a material e información nuclear sensible. Trabaja en estrecha colaboración con la Dirección de Consultas y Pasivos Nucleares (Nuclear Consultations & Liabilities Directorate) dependiente también de la DBERR, con otras agencias del gobierno y con contrapartes en el extranjero.

La Dirección Nuclear (Nuclear Directorate) actúa por mandato de la Dirección Ejecutiva de Salud y Seguridad (HSE), y en su calidad de regulador, trabaja en forma independiente de cualquier Departamento del gobierno responsable del programa nuclear del RU. La Dirección Nuclear establece los estándares de seguridad nuclear y seguridad física a ser usados en los sitios nucleares en el RU. La Dirección Nuclear tiene seis divisiones:

- División 1: Regulación de la Industria Nuclear Civil de Potencia
- División 2: Regulación de los Sitios de Química e Investigación Nuclear, incluyendo la Oficina de Salvaguardias del RU (UK Safeguards Office)
- División 3: Regulación de Instalaciones Nucleares de Defensa
- División 4: Sistemas de Investigación Nuclear, Estrategia y Negocios
- División 5: Oficina para Seguridad Nuclear Civil (OCNS)

[1] En diversas publicaciones se identifica esta Dirección como Nuclear Instalations Inspectorate (NII, Inspectoría de Instalaciones Nucleares) o como Dirección Nuclear. Se debe entender que son la misma institución.

- División 6: Evaluación de Diseños Genéricos de Reactores Nucleares

Protección Radiológica

En el 2003 el gobierno del RU estableció las Regulaciones de Seguridad de la Industria Nuclear, con el propósito de consolidar y mejorar la reglamentación de seguridad para la industria nuclear civil. Las nuevas regulaciones incluyen consideraciones acerca de la seguridad de las instalaciones nucleares, la seguridad del transporte de materiales nucleares y la seguridad de información nuclear de alta sensibilidad.

La Dirección Ejecutiva de Salud y Seguridad (HSE) regula la industria nuclear a través de su Dirección Nuclear (Nuclear Directorate, ND). El objetivo primario de la Dirección es asegurar que aquellos a quienes regula no tengan accidentes nucleares mayores. Es responsable por la regulación de seguridad en el RU de las centrales nucleares de potencia, plantas de química nuclear, decomisionamiento, establecimientos nucleares de la defensa, investigación y estrategia acerca de seguridad nuclear, y desde el 2007 es además responsable por la operación segura de la industria nuclear civil, y con el cumplimiento de las obligaciones y salvaguardias internacionales relacionadas con la proscripción de las armas nucleares.

La Dirección Nuclear, bajo el mandato de la HSE, establece las condiciones exigidas a la licencia de los sitios concedidas para la operación de instalaciones nucleares, con el propósito de tener en consideración los riesgos involucrados en tales actividades. Las condiciones generales exigidas han sido establecidas por la Dirección Nuclear en los Principios de Evaluación de Seguridad, documento de acceso público. Es uno de los objetivos de la Dirección Nuclear el mantener y mejorar los estándares de trabajo con radiaciones ionizantes en las instalaciones nucleares licenciadas. Esto lo hace mediante la evaluación de las medidas de seguridad propuestas para cada instalación y mediante la inspección de las mismas instalaciones para asegurar el cumplimiento de las exigencias definidas en la licencia respectiva.

De acuerdo a la legislación del RU, en particular la Ley de Salud y Seguridad en el Trabajo de 1974, los empleadores son responsables de proteger la seguridad de sus trabajadores y del público en general, lo cual se aplica en especial y se refuerza en el caso de las instalaciones nucleares mediante por la Ley de Instalaciones Nucleares de 1965 y sus correcciones posteriores. De acuerdo a esta última ley, un sitio no puede contar con una instalación nuclear a no ser que cuente con una licencia oficial concedida por la Dirección Nuclear. El régimen legal es complementado por la Regulación de Radiaciones Ionizantes de 1999 y por las exigencias específicas que establece la Dirección Nuclear en cada uno de los sitios nucleares.

Manejo de Residuos Nucleares

En el RU, la disposición de desechos radiactivos puede ser hecha solamente bajo la autorización de la Agencia de Protección Ambiental, o la correspondiente en las regiones de gestión autónoma (Gales, Escocia, Irlanda del Norte), pero bajo acuerdos operacionales entre tales organizaciones ambientales y la NII (o ND).

La gran mayoría de los desechos nucleares son una herencia de los desarrollos pioneros en energía atómica de los años 40, más que desechos resultantes normales producto de la generación de electricidad, pese a que de éstos hay una cantidad relativamente importante. Hasta 1982 algunos desechos nucleares de baja y media actividad eran descartados en lugares oceánicos de alta profundidad. En 1993 el gobierno del RU aceptó la prohibición internacional de esta práctica.

Por parte de la UKAEA, BNFL y BE, a mediados de los años 90 ya se habían hecho estudios para la construcción de un repositorio geológico de alta profundidad para desechos nucleares, esfuerzos que en 1997 fueron suspendidos.

A mediados del 2002, el Departamento de Comercio e Industria (DTI) publicó su libro blanco acerca del manejo de los desechos radiactivos del RU acumulados a lo largo del tiempo, incluyendo las instalaciones o plantas parcialmente utilizadas con fines de defensa en los primeros años. En 1986 el Gobierno había aceptado la total responsabilidad económica por los problemas y acontecimientos resultantes de los

programas de investigación y desarrollo llevados a cabo por la UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Agency), a través del DTI y de las organizaciones de defensa.

En relación a la gestión y disposición de los desechos radiactivos, en la actualidad la mayor parte de los desechos de baja actividad (LLW, Low Level Waste) se deposita en el repositorio estatal ubicado cerca de Drigg en Cumbria, el cual fue licenciado a BNFL y que ha estado en operación desde 1959. Los desechos de media actividad (ILW, Intermediate Level Waste) se encuentran almacenados, la mayor parte, en las instalaciones nucleares que se encuentran en operación y en el complejo de Sellafield, y se espera que finalmente serán depositados en un repositorio exclusivo para tales propósitos. El combustible usado se envía a Sellafield para ser reprocesado o almacenado en forma temporal. Los desechos de alta actividad resultantes del reprocesamiento son almacenados en Sellafield e incluso ciertos desechos de alta actividad han sido vitrificados y almacenados dentro de contenedores de acero inoxidable en silos. Todos los desechos de alta actividad (HLW) deben ser almacenados por un período de 50 años para permitir su enfriamiento.

El Comité de Manejo de Residuos Radiactivos (CoRWM), creado en el 2003 fue designado por el gobierno del RU para revisar las alternativas para el manejo de los residuos radiactivos. Este Comité debió recomendar el conjunto de alternativas que proveyeran una solución de largo plazo que protegiera a la gente y el medioambiente. Después de un período de consultas con expertos y público interesado, el Comité entregó sus recomendaciones en julio del 2006. El informe, titulado Managing our Radioactive Waste Safely, publicado en julio del 2006, incluyó una serie de recomendaciones que el CoRWM consideró como un todo interrelacionado. Estas recomendaciones son las siguientes:

- En el largo plazo, la disposición de los residuos radiactivos debe ser realizada bajo tierra a alta profundidad, alternativa que se conoce como “disposición geológica”.

- Almacenamiento intermedio en los propios sitios de alta confiabilidad, en reconocimiento del hecho que el proceso conducente a la creación de instalaciones adecuadas para la disposición podría tomar varias décadas.
- Una asociación equitativa entre el Gobierno y las comunidades anfitrionas potenciales (pueblos y ciudades inmediatas a los posibles sitios del emplazamiento del repositorio geológico), basada en la voluntad de participar.
- El establecimiento inmediato de una organización de supervisión independiente, que vigile el proceso de implementación.

Si bien el Gobierno será responsable por la gestión de los residuos radiactivos existentes, el informe establece que la iniciativa, el desarrollo y el financiamiento de cualquier nueva central nuclear no sería tarea del Estado. El informe en forma explícita dice que "todas las nuevas centrales serán propuestas, desarrolladas, construidas y operadas por el sector privado, quienes también deben cumplir con todos los costos de decomisionamiento, y el compromiso total por los costos de gestión de largo plazo de los desechos radiactivos."

Basándose en la Energy Act de 2004, el gobierno del RU en 2005 creó la NDA (Nuclear Decommissioning Authority), con la responsabilidad de diseñar e implementar la estrategia de decomisionamiento de las instalaciones nucleares civiles propiedad del Estado, tanto las centrales de potencia como instalaciones relacionadas con el ciclo de combustible nuclear, ejecutando estas actividades de manera segura y costo efectivas de modo que se que protejan el medioambiente y las futuras generaciones. En julio del 2008 la NDA indicó que después de tres años de trabajo había logrado establecer una estimación base de los costos del programa de decomisionamiento y restablecimiento de sitios. El programa incluye el decomisionamiento de 26 reactores Magnox, y el decomisionamiento, limpieza y restauración de los sitios de investigación de Dounreay, Windscale, Harwell y Winfrith, como también el enorme complejo de Sellafield. Se espera que en el mediano plazo la limpieza y restauración de los sitios sea una actividad sujeta a competencia entre oferentes privados.

Casi todos estos sitios incluyen instalaciones originalmente destinadas al programa de armas atómicas del RU, por lo que gran parte del esfuerzo está más relacionado con actividad pasada de defensa más que con desechos e instalaciones del programa civil de energía nuclear. El complejo de Sellafield originalmente era una fábrica de municiones de la Segunda Guerra Mundial y luego una instalación para la producción militar de plutonio, e incluye plantas ya cerradas que datan de los años 40.

La NDA tiene un presupuesto anual aproximado de GBP 2,2 miles de millón, la mitad proveniente de fondos del gobierno y la otra mitad de ingresos operacionales de la explotación de la planta de reprocesamiento y de la planta de óxidos mixtos MOX. En la medida que transcurra el tiempo los ingresos operacionales disminuirán ya que las unidades productivas serán progresivamente puestas fuera de servicio. El gobierno del RU ha aceptado su responsabilidad pública por el financiamiento del decomisionamiento y la limpieza de su herencia nuclear.

El valor descontado de las inversiones necesarias para llevar a cabo el programa se estimó inicialmente en GBP 40,7 mil millones, además de GBP 3,4 miles de millones para la construcción y costos permanentes de operación del repositorio geológico de alta profundidad para desechos nucleares, totalizando GBP 44,1 miles de millones; estimaciones más actualizadas indican que el costo del programa completo podría llegar a GBP 70 mil millones. El programa tendría una duración estimada de 130 años para el decomisionamiento de las instalaciones y la limpieza de los sitios. Del total estimado, los costos de Sellafield y Drigg son aproximadamente la mitad, los reactores Magnox cerca de un cuarto y Dounreay cerca de un décimo. El resto se distribuye entre los otros sitios que originalmente administraba la UKAEA. La porción de los costos de manejo y disposición de desechos nucleares es levemente mayor que los costos de decomisionamiento.

En junio del 2007 se llevó a cabo una consulta popular para establecer los criterios que se utilizarían para la elección del sitio; esto incluía además alianzas con las comunidades anfitrionas potenciales, lo que permitiría la discusión abierta y la evaluación de todos los antecedentes y oportunidades del caso. La ubicación definitiva

del repositorio se haría en base a un acuerdo con la comunidad anfitriona a la cual se le otorgaría incentivos para su aceptación. Se estima que aproximadamente un tercio del territorio del RU sería geológicamente adecuado para tal repositorio y que el proceso de licenciamiento del sitio podría demorar casi 10 años.

En febrero del 2008 el gobierno del RU publicó sus planes para la gestión y disposición de desechos nucleares que se generen a futuro. Los operadores de las centrales nucleares necesitarán demostrar planes detallados y evaluados económicamente para el decomisionammiento, manejo de desechos radiactivos, y disposición final de los mismos antes de comenzar la construcción de ninguna instalación. Luego, deberán separar y acumular capital en forma progresiva en un fondo seguro e independiente tal como se hace en otros países. El gobierno establecerá un precio unitario por la disposición de desechos de media actividad y combustible quemado, monto que considerará un sobreprecio ('premium') significativo por motivos de riesgo, el cual además se reajustará de acuerdo a la inflación. A contar de ese momento el gobierno tomará posesión de los desechos de media actividad y del combustible quemado, y aceptará los costos e inconvenientes relativos a su disposición final.

Los operadores deberán llevar a cabo sus propios arreglos para el manejo y disposición de los desechos de baja actividad derivados de sus operaciones y financiar tales arreglos en la medida que ocurren. Todos los otros costos de desechos y decomisionamiento deberán ser solventados a partir de los fondos independientes establecidos por el operador de cada instalación. Se espera que los montos referenciales a pagar al gobierno por parte de los operadores sean establecidos en 2009, con precios finales a ser negociados a partir de las propuestas y necesidades específicas de cada caso.

En junio del 2008 el gobierno del RU publicó un informe *Managing Radioactive Wastes Safely- a framework for implementing geological disposa*l, en el cual se establece como espera gestionar los desechos radiactivos de alta actividad en el largo plazo hasta llegar al almacenamiento en el repositorio, con almacenamiento temporal, e

investigación y desarrollo en apoyo a su implementación más eficiente. Además, invitó a las comunidades a expresar su interés no vinculante de entrar en conversaciones con el gobierno, acerca de la posibilidad de ser anfitriones de las instalaciones del repositorio geológico en el futuro.

Decomisionamiento de centrales nucleares

En 1995 el gobierno del RU decidió que el decomisionamiento de las centrales se debiera llevar a cabo tan pronto como fuera practicable. La tasa de desmantelamiento de las instalaciones debiera ser determinada por un conjunto de factores, entre los cuales se podría indicar la disponibilidad de espacio para el almacenamiento de desechos, la disponibilidad de personal idóneo para el trabajo, la disponibilidad de fondos para el pago de los trabajos a ejecutar y otros. La experiencia en el decomisionamiento de las centrales que se lista a continuación indica que los costos han sido menores a los estimados originalmente. Cabe reconocer que a la fecha el RU no cuenta con un repositorio geológico para los desechos de larga vida media y alta actividad, por lo que posiblemente la ausencia de los costos de almacenamiento permanente haya sido lo que resultó en menores costos a lo esperado.

Reactores de potencia del RU decomisionados

Reactor	Tipo	MWe	Año de apagado
Berkeley 1 & 2	Magnox	138	1988-89
Bradwell 1 & 2	Magnox	123	2002
Calder Hall 1-4	Magnox	50	2003
Chapelcross 1-4	Magnox	49	2004
Dungeness A 1 & 2	Magnox	225	2006
Hinkley Pt 1 & 2	Magnox	235	2000
Hunterston A 1 & 2	Magnox	160	1989-90
Sizewell A 1 & 2	Magnox	210	2006
Trawsfynydd 1 & 2	Magnox	196	1993
Windscale	AGR	28	1981

Dounreay PFR	FBR	254	1994
Winfrith	SGHWR	92	1990
Total: 21			

En el 2006 la Inspectoría de Instalaciones Nucleares (NII) otorgó autorización oficial para el decomisionamiento de las estaciones de potencia Sizewell A y Dungenes A, ambas de 40 años de antigüedad que fueron cerradas a fines de ese mismo año. En el año 2009 se les retirará todo el combustible, y se espera que el decomisionamiento del sitio sea llevado a cabo entre el 2010 y el 2011, lo que podría ser diferido para más adelante. Los únicos dos reactores Magnox todavía en servicio, los únicos que tienen un vasija de presión de concreto pre tensado en lugar de acero, se espera que sean cerrados entre el 2008 y el 2020.

Uno de los problemas de largo plazo en el RU con el decomisionamiento de centrales refrigeradas por gas y moderadas por grafito es que su decomisionamiento resulta ser mucho más caro por unidad de potencia que el costo de reactores refrigerados por agua, de hecho cerca de cinco veces más para los reactores Magnox. Esto se debe al gran volumen de material y a la necesidad de manejar y descartar una gran cantidad de grafito moderador. El volumen de material resultado del decomisionamiento por unidad de potencia de los reactores Magnox es diez veces mayor que la cifra para reactores de agua ligera empleados en Occidente.

El Fondo de Decomisionamiento de Generación Nuclear (Nuclear Generation Decommissioning Fund) fue establecido para cerciorar una fuente de financiamiento segura para el eventual decomisionamiento de las centrales nucleares de potencia operadas por British Energy (BE). BE fue el único aportante de capital para ese Fondo, al cual el último pago se debiera haber realizado en el 2035 o cuando Sizewell B hubiera sido cerrada. En el 2001 los garantes (Trustees) del Fondo comunicaron que su monto igualaba a los pasivos estimados. Al momento de la privatización de BE, el Fondo recibió GBP 228 millones a cuenta de los pasivos del decomisionamiento de las organizaciones predecesoras de BE, y en reconocimiento de las sumas que CEGB

(Central Electricity Generation Board) y NE (Nuclear Energy) habían pagado al Tesoro del gobierno del RU para tales propósitos. En marzo del 2004 el Fondo tenía acumulado un total de GBP 440 millones, y BE estimaba que los costos no descontados de decomisionar sus instalaciones ascendía a GBP 5,1 miles de millones, la gran mayoría de ellos no requeridos hasta muchos años más.

Con la reconstrucción de BE en 2004, los dineros acumulados en el Fondo fueron transferidos al nuevo Fondo de Pasivos Nucleares (Nuclear Liabilities Fund) al cual BE hace tanto pagos fijos, además del pago de un 65% de su flujo neto de capital. Este segundo Fondo es administrado por la Nuclear Decommissioning Authority (NDA) y será empleado principalmente para la limpieza de los desechos históricos del RU, en lugar de ser usados para el decomisionamiento de las plantas de BE. Se estima que el decomisionamiento de los diez sitios de los reactores Magnox podría llegar a tener un costo cercano a los GBP mil millones cada uno.

El gobierno del RU ha anunciado el establecimiento de un Directorio de Financiamiento Asegurado de Pasivos Nucleares (Nuclear Liabilities Financing Assurance Board, NLFAB), para proveer evaluaciones independientes y asesoría acerca de la adecuación de los programas de decomisionamiento sometidos a revisión por parte de los operadores de nuevas centrales nucleares de potencia.

Compromisos Nacionales e Internacionales

El Reino Unido es poseedor de armas nucleares. Entre 1952 y 1991 llevó a cabo un total de 45 ensayos nucleares, la mayoría durante los años 50.

El RU es miembro de la Unión Europea (UE), la Agencia de Energía Nuclear de la OECD (OECD/NEA), como también de otras organizaciones bilaterales y multilaterales relativas al uso de la energía nuclear. El gobierno del RU apoya los programas de la UE en los ámbitos de la seguridad de la energía nuclear y de manejo de desechos nucleares, y participa en muchos proyectos de la OECD/NEA y de la OIEA relativos al tema de la energía nuclear y sus aplicaciones. Es además parte del Tratado para la No Proliferación de Armas Nucleares (NPT), el cual ratificó en 1968, y bajo el

cual ha suscrito con la OIEA un acuerdo de salvaguardias que se encuentra en efecto a contar de 1972. El protocolo adicional relacionado con esto último fue firmado en 1998. Las salvaguardias de la OIEA son aplicadas en todas las actividades nucleares de tipo civil.

El gobierno del RU anunció en 1995 que había cesado la producción de material físil para propósitos explosivos. En la actualidad los pocos reactores Magnox en servicio operan bajo salvaguardias de EURATOM. Los reactores de Chapelcross todavía son empleados para la producción de tritio para el programa de defensa, por lo cual no están sujetos a salvaguardias internacionales. Pese a ello, el reprocesamiento del combustible nuclear de los reactores de Chapelcross ha sido sometido a las salvaguardias de EURATOM, por lo cual podrían ser sujeto de inspecciones por parte de la OIEA.

La Dirección de Control de Exportaciones y No Proliferación (Export Control and Non-Proliferation Directorate, XNP) depende del Departamento de Comercio e Industria. Se encarga de controlar la no proliferación mediante el otorgamiento de licencias de exportación de diversa índole. Además, cumple el rol de autoridad competente y oficina nacional en áreas tales como salvaguardias nucleares y convención de armas químicas. Las salvaguardias nucleares son medidas y acciones destinadas a asegurar que los Estados cumplan con sus obligaciones internacionales de no emplear materiales nucleares (plutonio, uranio y torio) para propósitos de explosivos nucleares.

La Oficina de Salvaguardias del RU (UKSO) supervisa la aplicación de salvaguardias nucleares dentro del RU, con el propósito de asegurar que se cumpla con las obligaciones oficiales del RU en materia de obligaciones internacionales relativas a la industria nuclear (OIEA, TNP). La UKSO trabaja con la industria nuclear y todos aquellos que deben cumplir con reportes de salvaguardias nucleares, para monitorear las actividades que se deben llevar a cabo y asegurar el cumplimiento de las salvaguardias por parte de cada uno de los involucrados

A continuación se presentan los tratados internacionales relativos a la industria nuclear a los cuales el RU está adscrito o de los cuales es parte.

Agreements with the IAEA			
• Amendments of Article VI & XIV.A of the IAEA statute	Ratified:	2 January 2001	
• Voluntary offer INFCIRC/263	Entry into force:	14 August 1978	
• Additional Protocol (GOV/1998/30)	Signature:	22 September 1998	
• Improved procedures for designation of safeguards inspectors	Both proposals not acceptable. Offers support in improving procedures	17 February 1989	
• Agreement on privileges and immunities	Entry into force:	19 September 1961	
• Supplementary agreement on provision of technical assistance (for Hong Kong) by the IAEA	Entry into force:	4 February 1983	
Other relevant international treaties			
• NPT	Entry into force:	27 November 1968	
• EURATOM	Member		
• Convention on physical protection of nuclear material	Entry into force:	6 October 1991	

• Convention on early notification of a nuclear accident	Entry into force:	12 March 1990	
• Convention on assistance in the case of a nuclear accident or radiological emergency	Entry into force:	12 March 1990	
• Vienna conventions on civil liability for nuclear damage	Signature:	11 November 1964	
• Paris conventions on civil liability for nuclear damage	Signature:	23 February 1966	
• Joint protocol	Signature:	21 September 1988	
• Protocol to Amend the Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage	Not signed		
• Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage	Not signed		
• Convention on nuclear safety	Entry into force:	24 October 1996	

• Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management	Entry into force:	18 June 2001	
• ZANGGER Committee	Member		
• Nuclear Export Guidelines	Adopted		
• Acceptance of NUSS Codes	Summary: Codes found appropriate as guidelines. Generally consistent with national regulatory requirements.	11 October 1988	
• Nuclear Suppliers Group	Member		

A.5.5 Rol del Gobierno en la energía nuclear

Antes de 1996, todas las centrales nucleares eran de propiedad del estado. En 1996, British Energy, dueña de ocho centrales, fue privatizada, a un precio de GBP (Great Britain Pund) 1,2 miles de millones. El conjunto de centrales más antiguas tipo Magnox, que no atrajeron suficiente interés por parte de los inversionistas, fueron traspasadas a la empresa Magnox Electric. Estas centrales tipo Magnox, como también las instalaciones del ciclo de combustible del RU continúan siendo propiedad del estado a través de British Nuclear Fuels (BNFL). Con posterioridad a tal traspaso de instalaciones nucleares, BNFL compró la filial de Westinghouse en el RU y otras empresas internacionales de ingeniería y servicios en la industria nuclear.

En el 2002, las acciones de British Energy (BE) sufrieron una caída de 90% como resultado de aumentos de costos, baja abrupta del precio de la energía en el RU, y la legislación europea relativa al control de gases de efecto invernadero (Climate Change Levy) introducida en abril del 2000, que le costó a British Energy (BE) entre GBP 80 a 100 millones por año. En el otoño (hemisferio Norte) del 2002 el gobierno intervino y proporcionó a la empresa un préstamo para mantenerla solvente, actitud que fue criticada; incluso se especuló que BE podría solicitar la quiebra. El gobierno procedió a entregar un préstamo por GBP 655 millones como aporte de capital de trabajo y como colateral para préstamos. A partir de esos años el desempeño de la empresa ha mejorado sustancialmente. El precio de la energía en el RU ha subido y la empresa llegó a nuevos acuerdos con los acreedores. Al mismo tiempo, el gobierno acordó asumir parte de los costos de decomisionamiento de las centrales nucleares y asumir responsabilidad por ciertas dificultades asociadas a las centrales. Todo esto colocó a BE en una posición mucho mejor. Desde que las acciones de BE fueron relanzadas en la bolsa de Londrés, sus acciones han subido un 250%. Entre los años 2003 y 2005 BE fue totalmente reestructurada y el Gobierno terminó con un 64% de la propiedad de la empresa. En mayo del 2007 el Gobierno vendió parte de sus acciones bajando su propiedad a un 39%, obteniendo por tal venta GBP 2.000 millones. Estos ingresos fueron depositados en el Fondo de Compromisos Nucleares (Nuclear Liabilities Fund)

con el propósito de ser empleados a futuro en el decomisionamiento de las ocho centrales nucleares administradas por British Energy.

El RU tiene una industria nuclear muy bien estructurada, que abarca todos los aspectos relacionados con el ciclo de combustible, excepto la producción de uranio. La planta de enriquecimiento de uranio URENCO, que emplea la tecnología de centrifugación, tiene capacidad para enriquecer 3.400 tSWU por año; esta planta es de propiedad parcial del gobierno del RU. British Nuclear Fuels (BNFL) opera una planta de conversión en Sprigfields con capacidad de 6.000 toneladas de uranio por año, y cuenta también con plantas de fabricación de combustible para varios tipos de reactores, con una capacidad de 1.500 toneladas de metal pesado por año. También opera plantas de reprocesamiento para combustible nuclear quemado proveniente de reactores del RU tipo Magnox y AGR (Advanced Gas Reactor), como también de reactores de agua ligera de otros países; esta instalación es de propiedad del gobierno. No se cuenta con la capacidad industrial doméstica para el diseño y construcción de centrales nucleares de potencia.

En septiembre del 2008 el Gobierno del RU anunció una nueva política centrada en la cadena de suministro de la industria nuclear. El Departamento para Negocios, Empresas y Reforma Regulatoria (BERR) indicó que se estaba ofreciendo GBP 150 millones para promover la manufactura en el RU y para poner a la industria nuclear en la delantera de los esfuerzos para lograr una economía de bajos niveles de emisión de carbón. El Director de la mencionada agencia indicó que “Con el establecimiento de un adecuado apoyo, podemos hacer crecer nuestra industria nuclear y nuestra industria de energías renovables, para lograr llegar a ser líderes mundiales en tecnologías ’verdes’.” La nueva estrategia industrial intenta apoyar tanto la satisfacción de las necesidades del RU por construcción de nuevas centrales nucleares para el país, como para el mercado nuclear de exportación. La recientemente creada Oficina de Desarrollo Nuclear deberá trabajar con socios de la industria privada para desarrollar la cadena de suministro de la industria nuclear.

Consistente con la filosofía de orientación al mercado imperante en el RU, la elección de cuanta, si es que alguna, capacidad adicional de generación de electricidad mediante el uso de energía nuclear habría que agregar, debe ser dejada en manos de los privados. El rol primario del gobierno el RU es de asegurar que todos los costos de la operación de centrales nucleares sean del todo claros para los agentes privados para cuando tomen sus decisiones, y el de informar al público acerca de las alternativas, que en la actualidad sería muy probablemente que para aumentar la generación de energía eléctrica se debiera aumentar el aporte de la generación en base a gas natural importado. Dentro de los beneficios considerados en la adopción de la energía nuclear se encontraría la emisión de baja cantidad de gases de efecto invernadero, y dentro de los inconvenientes se encontraría la necesidad de decomisionamiento de las instalaciones y el almacenamiento de largo plazo de los desechos nucleares.

De acuerdo a la política oficial del RU en estas materias, otros roles adicionales necesarios para el gobierno, relativos a la generación de electricidad mediante energía nuclear serían los siguientes:

- Establecimiento de la política para el manejo y almacenamiento temporal y definitivo de los desechos nucleares, tanto de las plantas existentes como de las plantas que se construya a futuro.
- Establecimiento de la política para el decomisionamiento de las plantas existentes y las futuras.
- Ayuda en la selección del sitio para el almacenamiento geológico de largo plazo de los desechos nucleares.
- Establecimiento de un proceso de licenciamiento para nuevas centrales nucleares alineado con las mejores prácticas internacionales actuales.
- Monitoreo continuo de la operación segura de todas las instalaciones nucleares.

Para llevar a cabo estas actividades es fundamental que el gobierno lleve a cabo los estudios necesarios, lo cual requiere de la asignación de los recursos económicos suficientes.

A.5.6 Rol de la industria privada en la energía nuclear

Históricamente, el desarrollo de la industria nuclear del RU fue un tema del gobierno, con mínima participación de los privados en las inversiones y en la gestión de las instalaciones. Esto se debió a que gran parte de la iniciativa para establecer la industria nuclear fue motivado por los programas de defensa de los años 50.

A contar de los años 90 el gobierno del RU se ha ido desprendiendo de la gran mayoría de las actividades que tradicionalmente había llevado a cabo en materias nucleares. Se privatizó las unidades generadoras, pasando a manos de British Energy todas aquellas centrales que tenían una vida comercial de más de 15 años, lo que incluyó los reactores tipo AGR y la central de Sizewell B. Se ha ido traspasando al sector privado empresas de servicios relacionados con el ciclo de combustible, el decomisionamiento de centrales, la operación de instalaciones de investigación y el almacenamiento intermedio de desechos nucleares. De esta forma la industria privada ha ido adquiriendo cada vez mayor importancia dentro de la industria nuclear del RU.

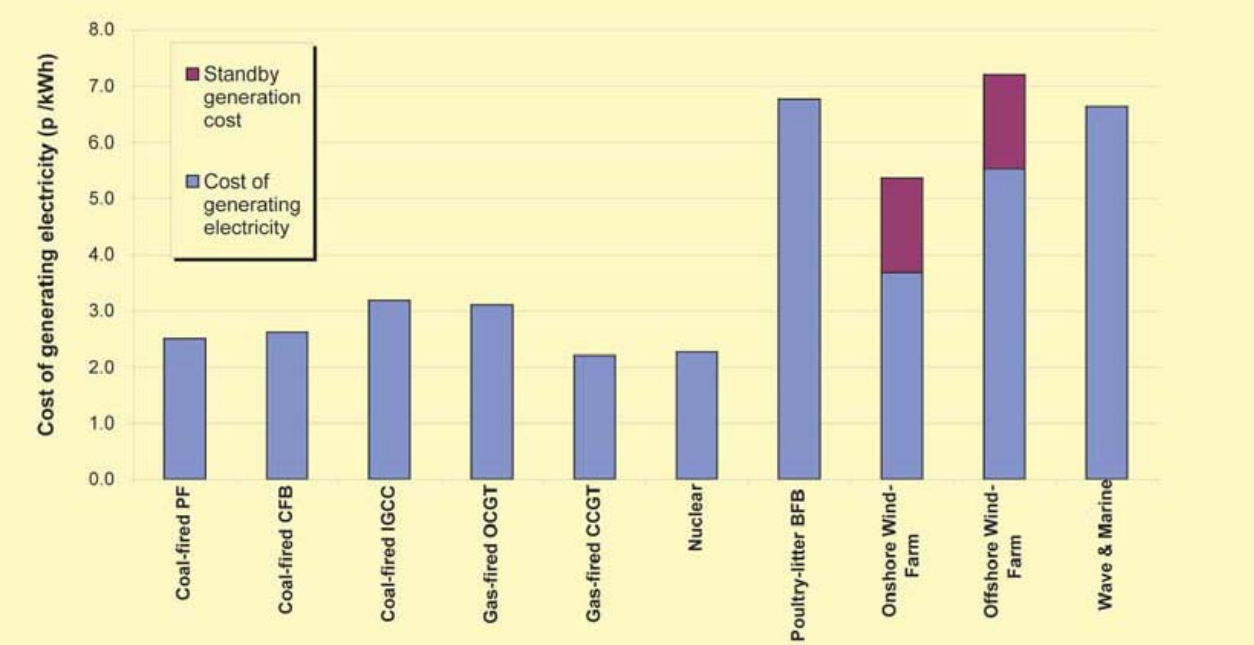
Se espera que a futuro todas las inversiones en nuevas centrales de potencia sean realizadas por privados, donde la cantidad de potencia a instalar, el tipo de tecnología y proveedor, y los riesgos y beneficios sean todos asumidos por parte de inversionistas no relacionados con el gobierno.

La no injerencia del gobierno del RU en materias de control de propiedad de la industria nuclear queda en evidencia con la aceptación de que Electricité de France adquiera BE, y de que muy posiblemente las futuras centrales nucleares del país sean construidas por la empresa francesa AREVA con capitales de empresas dedicadas a la generación en Alemania, Francia y España, y también de inversionistas del RU.

A.5.7 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear

De acuerdo a estudios llevados a cabo en el RU en el año 2004, los costos de la generación de electricidad en ese país mediante diversos tipos de tecnología son los que se muestra en la siguiente figura.

Figura A.2.6: Costos de generación de electricidad en el reino unido 2004



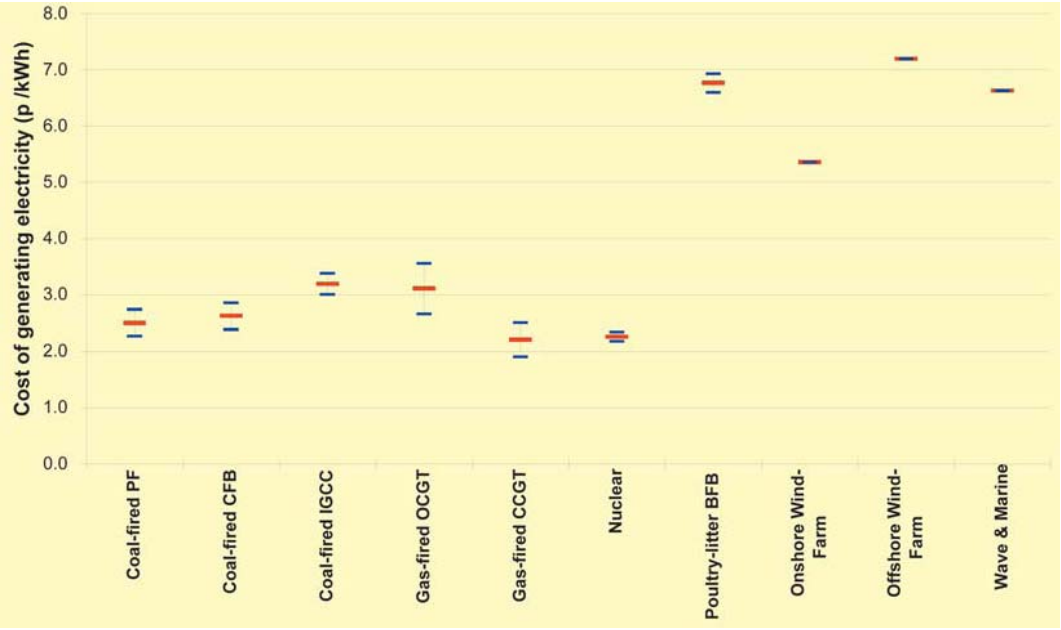
Es posible observar que el costo de la generación mediante centrales nucleares de 2,3 pence/kWh (1 pence = 0,01GBP, según tasa de cambio a noviembre del 2008 el costo sería de 3,7¢ US$/kWh), sería sólo levemente superior a la de generación mediante centrales a gas de ciclo combinado (2,2 p/kWh; 3,5 ¢US$/kWh). Incluso, la generación nuclear de electricidad sería más barata que la realizada por carbón (2,5 p/kWh), pese a que en el RU éste es un recurso muy abundante. Se observa que las energías no convencionales tendrían costos de generación casi tres veces más altos que la generación nuclear. Dentro de los costos considerados para la realización del estudio se han incluido los siguientes:

- Costos de capital de la central y sus equipos. En el caso de las centrales nucleares se ha incluido una cierta cantidad a ser ahorrada para efectos del decomisionamiento de la central al término de su vida útil.
- Costo del combustible si es aplicable
- Costos de operación y mantenimiento de acuerdo a los estándares del RU.

Para las fuentes no convencionales que tienen generación intermitente (eólica por ejemplo), se ha agregado una cantidad significativa del costo de tener capacidad de respaldo ("stand by") para generar en los períodos de no generación.

Teniendo en consideración la importancia de los costos del combustible en la generación, la figura a continuación presenta la variación en los costos de generación en el RU si los respectivos combustibles sufrieran una variación de +/- 20% respecto al valor base empleado para los cálculos de la figura anterior.

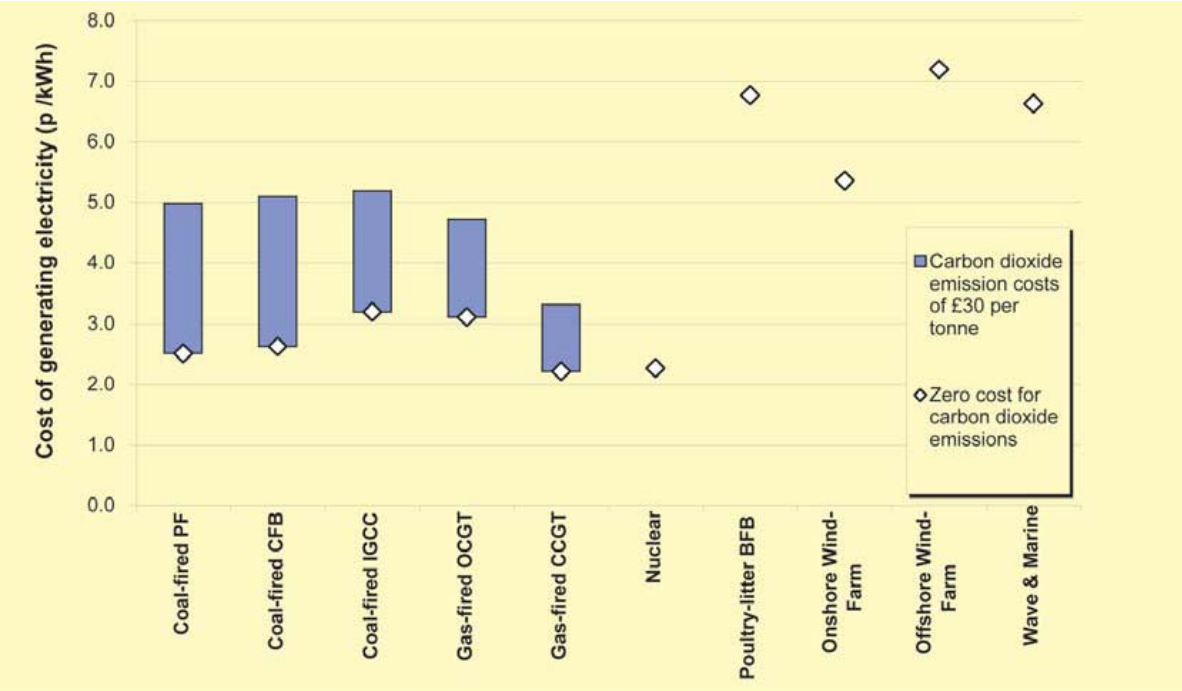
Figura A.2.7: Variación en los costos de generación en el RU ante variación de +/- 20% en el precio del combustible



De esta última figura se puede observar que la generación mediante gas dejaría de ser la más barata si el precio de tal combustible sufriera un alza de un 20%, incluso si simultáneamente el costo del combustible nuclear subiera en la misma proporción. Sólo en el caso de que el combustible nuclear subiera un 20% y el precio del carbón bajara un 20% la alternativa de generación a carbón pasaría a ser la segunda opción de generación más barata. Bajo ningún caso las energías alternativas podrían ser consideradas una alternativa económica de generación en comparación con las fuentes tradicionales de generación eléctrica.

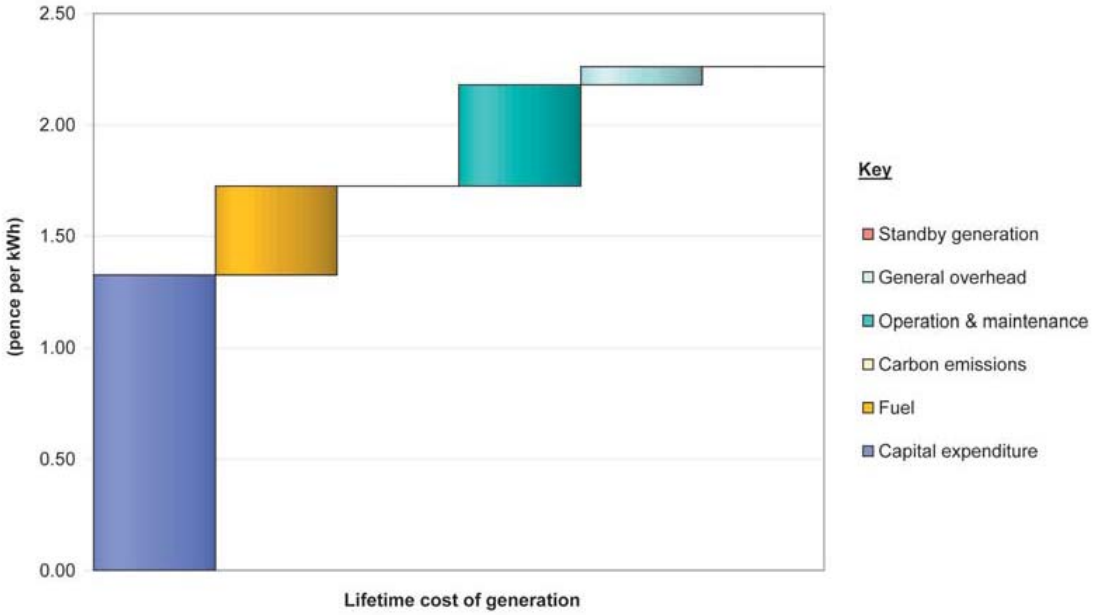
Si dentro de los costos de generación se agregara el efecto que significa la emisión de CO2 a la atmósfera por parte de las centrales fósiles, valorizando tales emisiones dentro de un rango desde cero hasta GBP 30 por tonelada equivalente de CO2 emitido, se llega a la situación de rango de costos de generación de electricidad que se muestra en la figura a continuación.

Figura A.2.8: Costos de generación en el reino unido considerando los costos de liberación de CO2 como resultado de quema de combustibles fósiles



Es claro que los sobrecostos de emisiones de CO2 afectarían solamente a las centrales que queman combustibles fósiles, lo que favorece a las centrales nucleares y a las de generación mediante energías renovables. Se aprecia en la figura que cualquier costo adicional impuesto a las centrales a gas de ciclo combinado traería como consecuencia que la fuente de generación más barata de electricidad en el RU sería la energía nuclear.

Las componentes de los costos de generación de la energía nuclear en el RU se muestran en la figura que sigue. Es posible apreciar que en los costos de generación el factor principal lo constituyen los costos de capital que alcanzan cerca de un 65% del total, seguidos por los costos de operación y mantenimiento con cerca de un 20%, luego los costos de combustible con aproximadamente un 13%. Para los valores mostrados se ha empleado la siguiente central hipotética de referencia: reactor PWR de 1.000 MW, con una vida operativa de 40 años, un período de construcción de 5 años, costos de capital de instalación 1.150 GBP/kW (1.845 US$/kW) excluyendo intereses durante la construcción de la central e incluyendo fondos ahorrados para decomisionamiento; costos de combustible de 0,4 p/ kWh (0,64 ¢US$/kWh), y costos anuales de operación y mantenimiento de 41 GBP/kW (66 US$/kW). Los costos de capital pueden sufrir una variación aproximada de +/-25% respecto a este caso de referencia.



A futuro se ha estimado que los costos de la energía nuclear en el RU seguirían en un nivel comparable a los de las centrales a gas de ciclo combinado. La energía nuclear dejaría de ser económicamente competitiva sólo si se llegara a producir el siguiente escenario:

- Altos costos de capital de las centrales nucleares, lo cual se podría deber a retrasos burocráticos durante el licenciamiento del diseño y la construcción de la central, lo cual se considera puede ser evitado con adecuada legislación y prácticas administrativas.
- Bajos costos del gas natural
- Bajos o nulos costos agregados por emisiones de CO2.

Si bien este escenario podría llegar a ocurrir es de una relativa baja probabilidad. Por el contrario, se estima que el escenario más probable incluiría costos medios del gas natural y un costo de GBP 20 por tonelada de CO2 emitido, lo cual favorecería la generación nuclear por sobre la generación mediante gas natural.

A.5.8 Recursos Humanos

Actualmente en la industria nuclear civil del RU trabajarían directamente cerca de 50.000 personas, con un total de trabajadores indirectos estimados en cerca de 30.000 adicionales, todos ellos poseedores de elevados niveles de calificación profesional.

En lo particular, se estima que cerca de 15.000 personas trabajan en actividades de limpieza de sitios y decomisionamiento de instalaciones nucleares en el RU. Entre las empresas Reactor Sites Management Company Limited (RSMC) y Magnox Electric, originalmente dependientes de British Nuclear Fuels (BNFL), que se dedican al decomisionamiento de las centrales e instalaciones nucleares en el RU trabajan aproximadamente 3.500 personas de diversas especialidades. Estas dos subsidiarias de BNFL fueron adquiridas por la empresa Energy Solutions de los EE.UU. en el 2007.

En el ámbito de la producción, reprocesamiento y almacenamiento de combustible nuclear, como también de manejo de desechos nucleares trabajarían unas 20.000 personas. La empresa que más trabajadores emplea en la industria nuclear del RU es BNFL, con cerca de 10.000 empleados que trabajan en las diversas plantas, reactores y en las oficinas administrativas.

En la extensa literatura consultada no hay estadísticas de número de trabajadores por cada planta de generación nuclear del país. La empresa British Energy, propietaria de los ocho reactores AGR todavía en servicio y del único PWR del RU emplea un total de 6.000 trabajadores, que incluyen personas no relacionadas exclusivamente con generación nuclear.

En la Dirección Nuclear (ND) trabajan cerca de 250 personas, de los cuales un 60% son profesionales técnicamente calificados con experiencia laboral, de diversas disciplinas de la ingeniería (mecánica, hidráulica, nuclear, electrónica, metalúrgica, etc.) y las ciencias (física nuclear, física de reactores, protección radiológica). El resto de los funcionarios de la organización son del área administrativa, llevando a cabo actividades

de coordinación con el gobierno, gestión y planificación de la institución, estudios de política industrial y gestión de sistemas informáticos.

Se estima que en total la industria nuclear de defensa emplea cerca de 10.000 personas adicionales a los 80.000 de la industria civil. En la empresa Rolls Royce Marine, subsidiaria de la empresa fabricante de automóviles, que se dedica al diseño, construcción, servicio y mantenimiento de reactores nucleares para submarinos de la Royal Navy, trabajan cerca de 2.000 especialistas en materias nucleares.

De acuerdo de declaraciones de un ministro del RU, se espera que en el largo plazo el programa de desarrollo de nuevas centrales nucleares, que podría llegar a tener una inversión cercana a los GBP 2.000 millones (US$ 3.400 millones), podría crear aproximadamente 100.000 nuevos puestos de trabajo.

A.5.9 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear

Una encuesta de opinión pública llevada a cabo en el 2005 indicó que la mayoría de la población (un 62%) apoyaría una política energética que combinara un aumento en el uso de tecnologías de energías renovables con un aumento cauto de construcción de nuevas instalaciones nucleares. En contraste, sólo un tercio (36%) de la población apoya la energía nuclear directamente, lo que sugeriría que el apoyo a la energía nuclear aumenta en forma significativa cuando hay seguridad que ésta no aumentará en lugar de o a expensas del uso de energías renovables. Esto además indicaría que a nivel de la población hay una confusión acerca de que la energía nuclear y las energías renovables serían alternativas excluyentes. Por lo tanto, se esperaría que la política energética del RU vaya a combinar una mezcla amplia de fuentes de generación, de modo de responder en mejor forma a las preocupaciones relativas a seguridad energética, el medioambiente y los costos de generación.

Las actitudes hacia la energía nuclear diferían notablemente por sexo, con un 55% de los hombres que apoyaban la energía nuclear, comparado con sólo un 19% de las mujeres. La encuesta también reveló un bajo grado de conocimiento acerca de cual

sería la fuente futura de generación eléctrica. Un 35% creía que dentro de 15 años la mayor parte de la energía sería aportada por fuentes renovables. En contraste, un 23% esperaba que la mayor parte de los suministros futuros serían generados por energía nuclear, con sólo un 18% que sostenía que los combustibles fósiles serían posiblemente los más importantes. Un 23% admitía que no sabían como sería generada la mayor parte de la energía. Estos resultados indicarían que existiría confusión y falsas expectativas por parte del público respecto a la futura generación de energía. Las expectativas acerca de las energías renovables eran claramente no realistas, ya que el aumento desde un 4% de aporte al momento de la encuesta, a las expectativas de un aporte mayoritario en 15 años más sería prácticamente imposible, de lo que se desprende que el gobierno del RU debiera hacer una mejor labor educativa del público respecto de las posibilidades energéticas del país.

La encuesta también analizó si es que el costo de la electricidad alteraría las actitudes de la población acerca de cómo ésta es generada. Sólo un 11% indicó que estarían dispuestos a pagar un 15% más para asegurar una reducción en las emisiones de carbono del RU, mientras que el restante 79% esperarían pagar no más que lo que pagaban o sólo una pequeña cantidad adicional. Por otro lado, un 92% pensaba que el gobierno del RU debiera hacer más para explorar tecnologías de generación alternativas para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y de CO2, confirmando un elevado grado de preocupación en relación a la energía y su impacto en el medioambiente, pese a la baja predisposición a pagar más por reducir tal impacto.

La mayor preocupación de la ciudadanía en relación a la energía nuclear se refería a la disposición de desechos nucleares (52%), seguido por la descarga accidental de material radiactivo (22%), ataque terrorista a instalaciones nucleares (12%) y costos de decomisionamiento (4%), con un 9% de los encuestados que manifestaron no tener preocupaciones al respecto.

La opinión pública en el RU respecto a mantener el porcentaje de electricidad generada por energía nuclear mediante la construcción de nuevos reactores sufrió un fuerte cambio desde un 20% de apoyo y un 60% de oposición en julio del 2001, a 41% a favor y 28% en contra en noviembre del 2005, llegando a un 65% de apoyo de nuevas construcciones a fines del 2007.

En el Parlamento del RU, a septiembre del 2006 hubo un aumento significativo en el apoyo a la construcción de reemplazo de energía nuclear entre los miembros del gobernante partido Laborista. La oposición a tal iniciativa disminuyó en forma consecuente. En total un 61% de los representantes (MPs) apoyaban la construcción de nuevas instalaciones nucleares y 22% se oponían a ello, mientras un 66% dijo que la energía nuclear debiera ser una contribución mayor al futuro energético del RU, y un 81% pensaba que así lo sería. De los representantes (MPs) Laboristas, un 60% apoyaban las nuevas construcciones (con una importante alza desde una aceptación de 35% en 2005), mientras que un 80% de los representantes Conservadores apoyaban tal política. Las razones para el apoyo de los representantes en 2006 eran seguridad energética (37%), el haberse dado cuenta que los recursos renovables no serían capaces de rellenar el déficit faltante (18%), reducción en la dependencia de los combustibles fósiles (15%), un buen historial de seguridad (15%), y la necesidad de una política energética balanceada, con pequeñas diferencias entre los partidos políticos. La implementación de políticas efectivas acerca de los desechos nucleares antes de continuar con nuevas construcciones era visto como necesario por un 78% de los representantes, pero sólo un 28% creía que ya existiría una “vía realmente clara al respecto”. Respecto a las fuentes de información en las cuales los representantes confiaban, los académicos eran ranqueados a un 83%, los líderes de la industria nuclear un 51%, los ambientalistas un 44% y los medios de comunicación un 24%.

A Julio del 2007 el apoyo se había fortalecido tanto entre los representantes Laboristas como entre los Conservadores, con un apoyo de un 72%, mientras que la

oposición aumentó a un 23%, basado en preocupaciones acerca de desechos nucleares, costos y la competencia con los recursos renovables.

A.5.10 Referencias Bibliográficas e Internet

- http://www.iaea.or.at/inisnkm/nkm/ws/countries/uk_administration.html
- http://www.mod.uk/NR/rdonlyres/C4840896-90AD-4A8C-BF8D-C2625C7C1DD8/0/historical_accounting.pdf
- http://www.hpa.org.uk/radiation/
- http://www.nea.fr/html/general/profiles/uk.html#regs
- http://www.opsi.gov.uk/acts/acts1995/pdf/ukpga_19950037_en.pdf
- http://www.opsi.gov.uk/acts/acts2000/pdf/ukpga_20000005_en.pdf
- http://www.opsi.gov.uk/acts/acts1965/pdf/ukpga_19650057_en.pdf
- http://www.nea.fr/html/law/nlb/nlb-71/057_083.pdf
- http://www.uk-legislation.hmso.gov.uk/RevisedStatutes/Acts/ukpga/1971/cukpga_19710011_en_1
- http://www.hse.gov.uk/nuclear/ocns/
- http://www.berr.gov.uk/files/file7980.pdf
- http://www.hse.gov.uk/nuclear/nsd1.htm
- http://www.nea.fr/html/general/profiles/uk.html#regs
- http://www.berr.gov.uk/files/file31938.pdf
- The Cost of Generating Electricity: A study carried out by PB Power for The Royal Academy of Engineering, 2004. Se obtuvo de la página web que se indica a continuación:
- http://www.raeng.org.uk/news/publications/list/reports/Cost_of_Generating_Electricity.pdf
- http://www.raeng.org.uk/news/publications/list/reports/Energy_Seminars_Report.pdf
- http://www.deloitte.com/dtt/press_release/0,1014,sid=2834&cid=102273,00.html
- http://www.cogent-ssc.com/industry/nuclear/industry_profile.php

- http://www.niauk.org/hot-topics.html
- http://www.british-energy.com/pagetemplate.php?pid=301
- http://www.personneltoday.com/articles/2008/06/02/46116/british-energy-opens-training-facility-at-its-gloucester-centre.html

A.6 República Checa

La República Checa cuenta con dos centrales nucleares que agrupan 6 reactores nucleares en total. Ambas son controladas por el grupo ČEZ a. s., que además administra otras 29 plantas de generación eléctrica no nuclear. Entre ambas centrales, poseen una potencia de producción eléctrica de 3.690 MW, que corresponde a un 21% de la capacidad instalada total. La producción eléctrica nuclear para el año 2007 fue de 26,19 TWh, que corresponde a un 30% del total generado. Esta mayor participación de la energía nuclear en la producción, respecto a la participación en la capacidad instalada, se explica por el hecho que es más utilizada debido a sus menores costos variables respecto a otras fuentes energéticas.

La historia de la energía nuclear en el país se remonta a 1970, cuando la Unión Soviética firmó con Checoslovaquia un acuerdo intergubernamental para la construcción de dos centrales eléctricas nucleares. Una en Jaslovké Bohunice en Eslovaquia y la segunda en Dukovany, Moravia del Sur (Chequia). La elección de Dukovany se justificaba por su cercanía con la central hidroeléctrica reversible de Dalesice, cuya represa superior permitía contar con una gran reserva de agua refrigerante para la central nuclear. La construcción de la central comenzó finalmente en 1974, pero fue suspendida durante los años 76-78 para modificar el diseño de forma que permitiera la instalación de reactores PWR más modernos. Las empresas manufactureras más importantes del país, como Škoda, Vítkovice y Královopolská, fueron “invitadas” a participar del proyecto, lo que resultó en que un 85% de la manufactura y montaje de equipos e instrumentos fue realizado en Checoslovaquia. El 24 de Febrero de 1985, el primer turbogenerador del reactor Nº1 fue conectado a la red eléctrica y en Noviembre de ese mismo año comenzó a operar comercialmente a su capacidad completa. Entre los años 1986 y 1987, entraron en funcionamiento los tres reactores restantes, sumando una potencia instalada total de 1.648 MWe.

Dukovany es un pequeño poblado de apenas 781 habitantes, ubicado en la región de Vysočina, en la zona occidental de Moravia. Dentro de la central, existen cuatro reactores PWR de tipo VVER 440 y modelo V 213, ubicados en dos unidades dobles separadas, cada uno generando 1350 MW de potencia térmica y 440 MW de potencia eléctrica efectiva. En total, la planta cuenta con una potencia de generación eléctrica efectiva de 1760 MW. La central nuclear de Dukovany provee a la red eléctrica checa cerca de 13 TWh de energía al año, que representan cerca de un 15% del total de energía eléctrica consumida en el país durante el año 2006. Desde su puesta en marcha la central ha aportado al país un total de 279 TWh de energía eléctrica, una cantidad suficiente como para satisfacer la demanda eléctrica actual del país por más de tres años.

En Febrero de 1979 fue decidida la construcción de una segunda central nuclear en los territorios checos, esta vez en Bohemia del Sur. El diseño y la ingeniería básica de la central fué desarrollado por Energoprojekt Praga, con la asesoría de organizaciones rusas, y estuvo terminado para 1985. La construcción de las primeras obras y equipos comenzó en 1987, pero en noviembre de 1989 la construcción del proyecto fue detenida para someterlo a una revisión completa. Esto, debido a la Revolución de Terciopelo que significó el fin del régimen comunista. El proyecto despertaba suspicacias en los nuevos líderes, que se enfocaron en revisarlo y mejorar sus estándares de calidad y seguridad, de manera que cumpliera con las más exigentes normativas internacionales, a las que ahora tenían acceso. Finalmente se decidió encargar a la empresa norteamericana Westinghouse, la instalación de modernos sistemas de instrumentación y control. La construcción de la central nuclear de Temelín finalizó en el año 2000, y meses más tarde entró en operación comercial el reactor Nº1. El reactor Nº2 fue conectado a su capacidad completa a comienzos de 2003, totalizando 1.824 MW de potencia instalada.

La central nuclear de Temelín está situada a 24 km de České Budějovice, ciudad capital de la región de Bohemia del Sur y uno de los principales destinos turísticos del país. Posee dos unidades de producción, cada una con un reactor PWR tipo VVER 1000 y modelo V320. El agua necesaria para su refrigeración es extraída desde el embalse de Hněvkovice, alimentado por río Moldava (Vltava, en checo), que fue construido junto con la central. Su potencia eléctrica instalada asciende a 2.000 MW, y su potencia térmica nominal equivale a 6.000 MW, lo que la hace la fuente energética focalizada más grande del país. Durante el año 2007 la central aportó al sistema eléctrico del país, una energía total de 12,3 TWh, que equivale a un 14.6% del total de energía eléctrica consumida por el país en dicho período. Desde su puesta en marcha en el año 2000, la planta ha generado un total de 66,72 TWh de energía eléctrica, equivalente a un 80% del total generado por el país en el año 2007.

Especificación de responsabilidades y riesgos que ha asumido el Estado y el Sector Privado en las diversas etapas y opciones de participación.

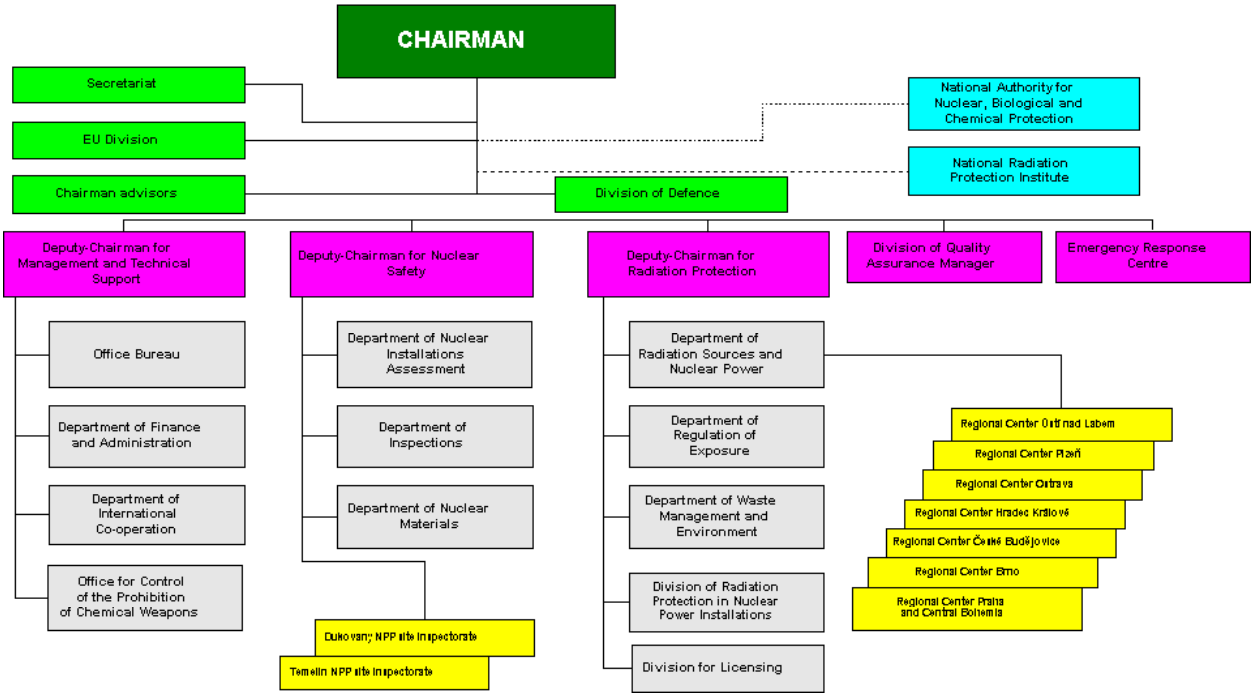
La central nuclear de Dukovany fue construida bajo el sistema comunista, por lo que el Estado asumió la responsabilidad total del proyecto, diseñando y ejecutando las obras a través de sus empresas subsidiarias. Respecto de la central de Temelin, ésta fue diseñada durante la época comunista, y su construcción comenzó pocos años antes de la caída del régimen. Luego de la Revolución de Terciopelo, que liberalizó el país en 1989, el proyecto fue detenido y revisado minuciosamente. Fue decidido reducir el tamaño de la planta e incorporar modernos sistemas de control, que permitieran una operación segura de los reactores. Desde este momento, en sintonía con la reconstrucción, apertura y privatización de la economía del país, el proyecto fue encargado al recientemente creado consorcio público-privado de generación eléctrica CEZ. Dicha empresa utilizó sus propios recursos y acceso a capitales para financiar la construcción y puesta en marcha de la central de Temelín. Además, ha invertido grandes sumas de dinero en mejoras operacionales a la planta de Dukovany y posee la responsabilidad total de los costos asociados a la explotación de ambas centrales

nucleares. El Estado no aporta recursos para la operación ni las inversiones de CEZ, con la única excepción de una garantía estatal a un préstamo del Banco Mundial. A través del National Property Fund (NPF, ente privatizador), el Estado checo posee un 65,9% de CEZ a.s., que fue parcialmente privatizada en 1992. El NPF ha delegado sus derechos accionarios en el Ministerio de Industria y Comercio. El resto de las acciones de la compañía son transadas en la Bolsa de Comercio.

A.6.1 Marco legal e institucional dentro

La República Checa posee una Ley Atómica (Atomic Act, ver anexos) que provee el marco regulatorio principal sobre el cuál se organiza la actividad nuclear en el país. Fue promulgada en 1997 y reformada en 2002, con el objetivo de adaptarse a las exigencias de la UE. Dicha ley establece las características y objetivos del programa nuclear, las responsabilidades y las instituciones encargadas de regular y fiscalizar el uso de la energía atómica, ya sea con fines investigativos o productivos. La Oficina Estatal para la Seguridad Nuclear (SÚJB), fundada en 1993, es la autoridad regulatoria nacional en temas de seguridad nuclear y radiación. Es un cuerpo de la administración estatal independiente, con su propio presupuesto. Está presidida por un Director, nominado por el Consejo de Ministros del Gobierno, quién puede, según se requiera, estar presente en las reuniones gubernamentales de alto nivel. Las decisiones regulatorias de la SÚJB no pueden ser alteradas por ningún otro cuerpo del Estado, salvo aquellas que se refieren a multas. Los demás puestos administrativos de la organización son nominados directamente por el Director, y no requieren de visado de otros organismos estatales (Gobierno, Parlamento, etc). El Director de la SÚJB posee además el cargo de Inspector General de Seguridad Nuclear, y debe nominar personalmente a los inspectores de seguridad nuclear y protección radiológica. La institución posee cerca de 200 empleados y dos institutos de investigación, que cumplen funciones de soporte técnico. A continuación se presenta un organigrama de la SÚJB.

Figure 1. **ORGANIZATIONAL CHART OF THE STATE OFFICE FOR NUCLEAR SAFETY**



En lo que respecta a la generación eléctrica, la industria está regulada por la Oficina de Regulación Energética (ERU), fundada en 2001 con el fin de centralizar las tareas regulatorias en el mercado eléctrico y energético en general. Aún así, su labor se encuentra apoyada por la Agencia Checa de Energía (CEA) y la Junta Estatal de Inspección Energética. Dichas instituciones tienen como objetivo el monitoreo y apoyo en la incorporación de nuevas tecnologías y prácticas que permitan una mayor eficiencia energética y una menor contaminación ambiental.

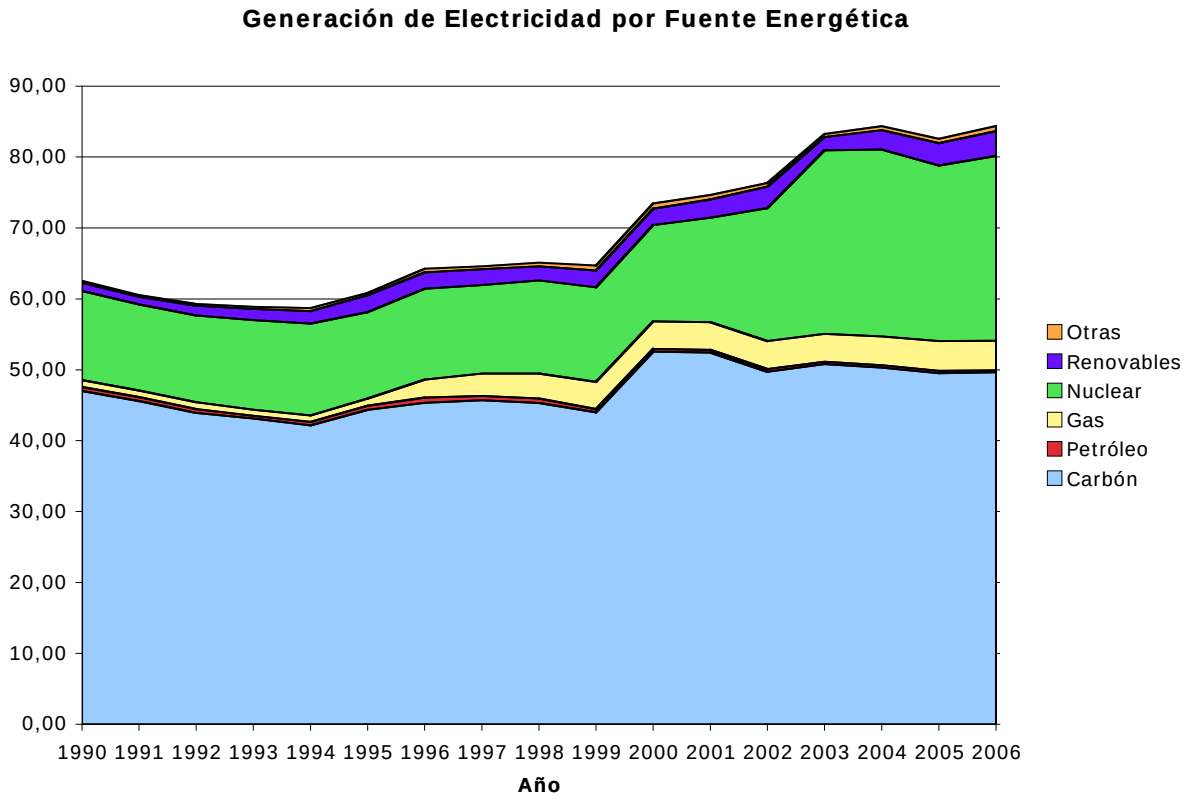
** Se adjunta el texto del Atomic Act, en ingles, que es la Ley fundamental que rige el uso de la energía nuclear en el país.

A.6.2 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética

El carbón es la principal fuente de generación de energía eléctrica en la República Checa. Aporta un 58,85% de la generación eléctrica anual del país, seguido por la energía nuclear que aporta un 30,88%. Las demás fuentes energéticas poseen participaciones muy menores: el gas aporta un 4,94% del total, las energías renovables un 4,18%, otras fuentes (tales como centrales hidroeléctricas reversibles) un 0,84% y el petróleo un 0,31% .

La República Checa cuenta con dos centrales nucleares que agrupan 6 reactores nucleares en total. Ambas son controladas por el grupo ČEZ a. s., que además administra otras 29 plantas de generación eléctrica no nuclear. Entre ambas centrales, poseen una potencia de producción eléctrica de 3.690 MW, que corresponde a un 21% de la capacidad instalada total. La producción eléctrica nuclear para el año 2007 fue de 26,19 TWh, que corresponde a un 30% del total generado. Esta mayor participación de la energía nuclear en la producción, respecto a la participación en la capacidad instalada, se explica por el hecho que es más utilizada debido a sus menores costos variables respecto a otras fuentes energéticas.

Como puede observarse en la gráfica, la matriz energética eléctrica es hoy más diversificada que en 1990 y menos dependiente del carbón. En ello ha jugado un rol fundamental el aporte de la energía nuclear a la generación eléctrica, que desde el año 2000 a la fecha ha aumentado notablemente su participación. Gracias a ello, la generación anual total ha crecido significativamente desde 1999, sin que el carbón haya tenido que aumentar de forma importante su producción eléctrica. Ello implica millones de toneladas de CO2 que no fueron lanzadas a la atmósfera, lo que constituye un valioso aporte para un país con una alta intensidad de emisiones.



Propiedad y explotación del servicio público que proporcionan las centrales núcleo-eléctricas.

El mercado generador está fuertemente concentrado en una gran empresa, ČEZ a. s. (České Energetické Závody; Industria Checa de Energía, en español), que concentra el 73% de la capacidad generadora, incluyendo las dos centrales nucleares que posee el país. Esta empresa es una sociedad anónima de propiedad mixta entre el Estado checo (Ministerio de Hacienda), que controla un 65% de las acciones, e inversionistas privados. A pesar de la participación estatal en la compañía, el Estado no realiza aportes de capital para financiar las operaciones ni la inversión, sino que ésta debe lograr generar utilidades y obtener financiamiento propio. De las restantes compañías generadoras, ninguna supera el 3% del mercado.

El sector de distribución está igualmente concentrado en tres empresas que concentran el 95% del suministro eléctrico a los clientes finales. Éstas son: ČEZ, E.ON (de capitales alemanes) y Pražská Energetika (que abastece a la ciudad de Praga). Existe un total de 10 distribuidores eléctricos independientes que operan en el mercado eléctrico, y compran la energía de pequeñas plantas generadoras, o simplemente la importan desde los países vecinos. Entre todos ellos no logran superar el 5% del suministro final.

El organismo encargado de regular la transmisión y distribución eléctrica en el país es la ERÚ (Oficina de Regulación Energética, en español), que tiene la misión de regular los precios a los consumidores finales, monitorear el funcionamiento del sistema eléctrico y asesorar a los organismos gubernamentales en materia de regulación y legislación energética. Los precios de la electricidad en la República Checa para pequeños clientes, se han mantenido durante muchos años como uno de los más bajos de Europa (23% menores al promedio de la UE). Esto, a pesar del fuerte aumento del poder adquisitivo del país. En cambio, el precio eléctrico unitario para los grandes clientes está en un valor muy cercano al promedio de la UE, aunque ligeramente menor. Estos bajos precios de la energía eléctrica se explican principalmente por el mix energético en la generación, donde el carbón y la energía nuclear, dos de las fuentes con menores costos unitarios, proveen casi un 90% de la energía eléctrica.

En los últimos años, producto de las nuevas normativas y requerimientos de la UE, el mercado eléctrico del país fue liberalizado completamente el 1 de enero de 2006. Producto de ello, el Estado ha asumido el control de las líneas de transmisión, lo que permite a los usuarios finales elegir libremente a su proveedor. A pesar del enorme avance normativo que esto implica, en la práctica no ha tenido efectos importantes, dado que no más de un 5% de los clientes ha decidido efectivamente cambiar de proveedor.

Propiedad y explotación de materias primas que

Esta sección trata en particular de las materias primas utiliza la tecnología núcleo-eléctrica relacionadas con el ciclo de combustible nuclear, como también la participación de la industria de cada país en el suministro de equipos, componentes y tecnología para el programa núcleo-eléctrico respectivo.

Gran parte de los equipos y todas las piezas de construcción de ambas centrales nucleares fueron producidas dentro del país o en Eslovaquia (antiguamente parte de Checoeslovaquia). El combustible, los sistemas de instrumentación y control y las bombas de circulación principales fueron las principales excepciones. El diseño original de ambas plantas es ruso, pero durante el proceso de construcción de la central de Temelín éste fue modificado de manera sustancial, principalmente en lo que se refiere a los sistemas de instrumentación y control, y el combustible.

La industria checa es capaz de producir casi la totalidad de los componentes principales de un diseño VVER, incluyendo las vasijas de presión, el circuito primario, los generadores de vapor y las bombas. El primer reactor de investigación que poseyó el país fue importado desde la Unión Soviética, pero luego de dos reconstrucciones es hoy prácticamente de fabricación nacional (con la excepción del combustible). Los otros dos reactores de investigación que se encuentran en la República Checa fueron diseñados y fabricados localmente.

Para la contrucción de la central de Dukovany, el Estado de Checoslovaquia contó con la cooperación de las principales empresas de ingeniería y tecnología del país, junto con algunas soviéticas y de otros países de la COMECON. Entre ellas se cuentan: Škoda Praga, Škoda Plzeň, Vítkovice, Královopolská, Energoprojekt Praha, Průmyslové stavby Brno y LOTEP (de la URSS).

Durante el diseño (definitivo) y construcción de la central de Temelín, a cargo del consorcio CEZ a.s., participó nuevamente gran parte de la industria nacional, además de algunas empresas internacionales, principalmente de Europa Occidental y EE.UU., lo que durante la ocupación soviética hubiese sido imposible. Las principales compañías que participaron en el proyecto fueron: Škoda Praha, a.s.; Energoprojekt Praha, a.s.; Škoda Jaderné strojírenství, s.r.o.; Škoda Energo, a.s.; Vítkovice, a.s.; První brnenská ABB, a.s.; Sigma, a.s.; ZVVZ Milevsko, a.s.; EZ Praha, a.s.; Královopolská strojírna, a.s.; Vodní stavby Bohemia, a.s.; Modranská potrubní, a.s.; Orgrez SC (OSC), a.s.; Regula Praha, a.s.; GANZ Budapest, de Hungría; PKE Philips, Nalco Chemical, y ELIN de Austria; Alcatel Cable Lyon, SGN, y Fragema de Francia; Ansaldo de Italia; AEG AG y Sempel de Alemania; ABB, Cerberus y Sulzer de Suiza; Cadcentre Ltd. del Reino Unido; y Westinghouse, Data Systems Solutions y Sorrento Electronics de EE.UU.

El combustible nuclear para los reactores de investigación que existen en el país es traído desde la Federación Rusa. El uranio para la fabricación del combustible de la central de Dukovany es comprado en el mercado abierto, con la excepción de un año completo de suministro exclusivo ruso, comprado hace algunos años. Los servicios de conversión y enriquecimiento, junto con la fabricación de los elementos combustibles, han sido históricamente contratados a proveedores rusos. En lo que respecta a la central de Temelín, el combustible para la carga inicial estaba asegurado por contrato, junto con una serie de recargas que fueron comprometidas poco tiempo después y hasta el año 2010. El uranio para la fabricación del combustible es de procedencia rusa, la conversión y el enriquecimiento son realizados en Rusia y el Reino Unido, y la fabricación de los elementos combustibles se lleva a cabo en EE.UU. Desde 2010 en adelante se ha comprometido, de forma preliminar, el abastecimiento de combustible desde la Federación Rusa.

La compañía estatal Diamo s.p. es la única operadora en la extracción y procesamiento de uranio existente en el país. La mina de uranio de Dolni Rozinka es la

única que aún se mantiene operativa, de las antiguas minas de uranio de Checoslovaquia. El país llegó a producir 2.500 ton de uranio al año en los años 70, pero hoy la producción no sobrepasa las 380 ton, y disminuye año tras año. La mina, que es también la única mina de uranio operativa en la Unión Europea, tenía programado su cierre para el año 2003, pero el aumento del precio internacional del uranio y su escasez en el último tiempo, han provocado una postergación indefinida del cierre. La República Checa no posee infraestructura para la fabricación del combustible nuclear ni de ningún otro servicio relativo al ciclo del combustible, tales como conversión y enriquecimiento. Además, el país posee restricciones a las importaciones de uranio.

A.6.3 La seguridad de las instalaciones nucleares

Un gran volumen de soporte técnico de seguridad nuclear es proporcionado constantemente por la OIEA, la NEA y la Unión Europea. La República Checa participa en el programa de cooperación técnica de la OIEA y en el programa nuclear PHARE de la Unión Europea. La seguridad nuclear ha sido el principal foco del programa de cooperación nacional de la OIEA con el país. Éste ha estado enfocado en una variedad de tópicos técnicos relacionados con la operación de los reactores VVER, tales como: la integridad del circuito primario, la inspección operativa, la operación de la planta y el mantenimiento, el desarrollo de un enfoque de capacitación sistemática (SAT, en inglés), el uso de una metodología de evaluación global de seguridad y el análisis e implementación de retroalimentación operacional. El programa de mejoras de seguridad para la central de Dukovany, se tradujo en un plan de inversión y modernización que permitió ponerla al día con las exigentes prácticas y estándares internacionales. Por otro lado, la evaluación de seguridad de la planta de Temelín se ha llevado a cabo desde los comienzos del proyecto de construcción, mediante la inspección y cooperación in-situ, las misiones de revisión del diseño (1990, 1996, 2001), las misiones de seguridad operacional (1990, 2001) y otras destinadas a diversos tópicos (QA, LBB, PSA, seguridad de incendios, etc), especialmente orientadas para unidades VVER 1000. Se ha llevado a cabo un gran número de

misiones de inspección y cooperación en las centrales de Dukovany (8) y especialmente en Temelín (19) desde el año 1990. Aún más, el IRRT (Equipo Internacional de Evaluación Regulatoria de la OIEA) llevó a cabo una completa inspección y evaluación de la SÚJB en junio de 2001, con el fin de evaluar la efectividad y competencia de las instituciones de regulación nuclear en el país. La República Checa participa también activamente del programa regional de cooperación técnica para Europa, que trata principalmente acerca de: integridad del circuito primario, manejo de desechos nucleares, seguridad en reactores nucleares, harmonización de prácticas de PSA (Probabilistic Safety Assesment, en inglés), fortalecimiento de las capacidades de evaluación en seguridad y preparación para emergencias. Particular importancia posee el llamado programa extra-presupuestario de la OIEA orientado a las mejoras en seguridad de reactores VVER. Un número importante de organizaciones relacionadas a la industria nuclear checa han participado en éste, incluyendo a la SÚJB y CEZ, lo que ha permitido, con la participación activa de otros países que operan reactores VVER, confeccionar una lista de los defectos más comunes que presentan dichos modelos y enfocarse en su solución.

Cabe destacar que desde el año 1995 CEZ a.s. está llevando a cabo un programa de modernización a largo plazo para la central de Dukovany, que tiene planificado su término para el año 2010. Hasta la fecha se han logrado grandes avances en distintos indicadores operativos y de seguridad que han significado una muy baja tasa de detenciones no programadas y un alto factor de disponibilidad para los cuatro reactores que la componen. A éste se suma un segundo programa de evaluación y modernización llamado MORAVA (Modernisation-Reconstruction-Analysis-Validation, en inglés), que tiene como objetivo coordinar y ejecutar proyectos parciales de mejoramiento en ambas centrales. El programa de mejoras en seguridad de la planta de Temelín comenzó, con la asistencia de la OIEA, durante el período de construction con el reemplazo de los sistemas de instrumentación y control y el combustible nuclear. Hasta el momento, las misiones de la OIEA han confirmado que la mayor parte de los problemas de seguridad de la planta han sido solucionados con éxito y que los pocos

temas que están pendientes se encuentran en una etapa avanzada de su solución y no comprometen la operación segura de la central.

El decreto número 319/2002 de la SÚJB que entró en vigor en julio de 2002, está enfocado en la implementación de ciertas disposiciones de la directiva 89/618 del Consejo de la EURATOM acerca de informar al público en general acerca de las medidas de protección sanitarias a ser aplicadas, y los pasos a ser tomados, en el evento de una emergencia radiológica. También está orientado a la aplicación de la directiva 87/600 del Consejo de la EURATOM acerca de arreglos comunitarios para el intercambio temprano de información en el evento de una emergencia radiológica. El decreto además establece los detalles del funcionamiento y la organización de la Red Nacional de Monitoreo de Radiación, establecida bajo la supervisión de la SÚJB.

A.6.4 La gestión de los desechos radiactivos

El almacenamiento del combustible nuclear gastado es provisto por sus usuarios originales: CEZ a.s. en lo que concierne a las centrales núcleo-eléctricas y UJV-Res a.s. para los reactores de investigación. La capacidad de almacenamiento de combustible gastado en las piscinas de los reactores es suficiente para 6 años de operación continua de cada unidad. Las instalaciones de la central de Dukovany incluyen bodegas de almacenamiento provisorio para el combustible nuclear ya utilizado. Este almacenamiento “provisorio”, se refiere a que la empresa debe gestionar por cuenta propia sus desechos nucleares hasta que la planta complete su vida útil. En ese momento, deberá traspasar los desechos a una oficina gubernamental que se ocupará de su depósito final. Para cumplir este requisito, ČEZ ha dotado a la bodega en Dukovany con 60 contenedores tipo CASTOR 440/84. Cada uno de ellos puede almacenar 10 tons de combustible ya utilizado, que corresponde aproximadamente a lo produce un reactor VVER 440 en un año. Dado que el depósito actual es insuficiente para satisfacer las necesidades de la planta hasta su cierre definitivo, está en construcción un segundo depósito, de mayores dimensiones, que servirá también a la planta de Temelín. En la actualidad existe otro depósito para desechos nucleares de

radiactividad baja y media, ubicado en el interior de una antigua mina de uranio cerca de Litomerice, en el norte del país.

Los depósitos actuales no poseen las características técnicas para recibir residuos de alta radiactividad ni para el almacenamiento definitivo del combustible gastado, ya catalogado como desecho nuclear. La construcción de un depósito geológico de gran profundidad ha sido propuesta ya por la RAWRA (Radioactive Waste Repository Authority), en cooperación con otras organizaciones. El proyecto fue promocionado por el Ministerio de Industria y Comercio, para su discusión dentro del Gobierno. Basándose en un programa preliminar, la aprobación del sitio para para la construcción del depósito definitivo se espera sea realizada en 2015, para comenzar los trabajos de construcción aproximadamente en el año 2030 y realizar el depósito definitivo de los desechos alrededor de 2065.

El tema del reprocesamiento del combustible gastado permanece abierto hasta el momento. En un principio, siguiendo el espíritu de la Ley Atómica (Atomic Act), la decisión de si reprocesar o no recae en el dueño y usuario del combustible, en este caso, CEZ a.s. Por el momento la empresa no considera atractivo el reprocesamiento, aunque tiene presente que las condiciones del mercado pueden cambiar en el mediano plazo. De inclinarse por esta alternativa la compañía debe de todas maneras coordinar sus decisiones con la SÚJB y la RAWRA, de manera de poder diseñar con éxito el programa de largo plazo para el tratamiento de residuos. Esto, considerando además que la construcción del depósito definitivo es responsabilidad del Estado y no de los operadores.

En la actualidad, los costos de la decomisión de las centrales nucleares y el almacenamiento definitivo de los desechos nucleares generados a partir del combustible nuclear gastado, no están reflejados de forma directa en los precios de la electricidad. CEZ y los organismos reguladores han calculado un monto anual a ser destinado a un fondo de provisión, que permita el diseño y construcción del depósito definitivo. Con este fin, la empresa realiza depósitos anuales, provenientes de sus

utilidades, al Banco Nacional Checo que es el ente responsable del fondo. De acuerdo con la Ley Atómica, deben ser las empresas operadoras (en este caso CEZ) las que se encarguen del cierre y recomisión definitiva de las centrales nucleares, incluyendo todos los costos involucrados. Al Estado, en cambio, le corresponde la responsabilidad de la construcción del depósito definitivo.

A.6.5 Medidas que el Estado ha adoptado en cada país para permitir la efectiva participación del sector privado

La industria núcleo-eléctrica del país está dominada por CEZ a.s., que como se ha señalado anteriormente es una sociedad anónima de capitales público-privados, en donde el Estado checo posee cerca de un 65% de participación en la propiedad. Cabe destacar que la empresa fue separada del control estatal (a pesar de mantener una participación mayoritaria en la propiedad) y privatizada parcialmente durante la primera etapa de privatizaciones llevada a cabo en el país, a principios de la década de los noventa. Desde allí en adelante, la compañía ha debido hacer frente a todos sus compromisos operativos y financieros de manera autónoma y bajo la atenta mirada de los inversionistas privados que participan en ella. Ello ha significado que su administración esté orientada en obtener resultados económicos y no en mezclarse en temas políticos que la alejen del comportamiento de una empresa enfocada en la rentabilidad. A esto se suma que la participación estatal en la compañía ha estado bajando lentamente producto de las ventas de acciones que la National Property Fund ha realizado en los últimos años. Se espera que esta tendencia se mantenga, aunque es poco probable que el Estado se desprenda del control mayoritario de las acciones. A través de la privatización parcial de CEZ a.s. el sector privado ha logrado una importante participación en la industria núcleo-eléctrica del país, lo que ha significado un claro aporte a la competitividad y eficiencia de la industria.

A pesar de la apertura del mercado energético a la inversión privada, es poco probable que alguna empresa distinta a CEZ se embarque en un proyecto núcleo-eléctrico de forma independiente. En primer lugar porque las barreras de entrada a la

industria son altas, producto del gran número de instituciones y entes reguladores involucrados, el especial "celo" que los proyectos núcleo-eléctricos despiertan y la alta inversión de capital que significan. En segundo lugar, el país posee capacidad generadora eléctrica ociosa, que aunque es de baja calificación ambiental (alta intensidad de emisiones), por tratarse de antiguas plantas a carbón, posee bajos costos de operación. Por ello, las inversiones privadas se han centrado en la modernización y actualización de las centrales termoeléctricas más antiguas y en el interesante mercado de las energías alternativas. Esto, debido al importante subsidio y los beneficios que la UE otorga a dichos proyectos.

Considerando que se espera que el crecimiento económico del país se mantenga en torno al 5% anual en el futuro cercano, la demanda eléctrica seguirá creciendo, lo que sumado a las duras restricciones que la UE ha comenzado a aplicar a las industrias contaminantes, significarán la salida de las plantas a carbón más antiguas y la posibilidad de una estrechez en la capacidad generadora eléctrica. Ante este escenario CEZ ha propuesto la ampliación de la central de Temelín a su capacidad de diseño original de 4.000 MW eléctricos. Ello implicaría la adición de dos unidades generadoras, cada una con un reactor de 1.000 MW de potencia eléctrica. En la actualidad la propuesta está en discusión y se espera que una decisión sea tomada antes de 2010.

A.6.6 Seguridad y Salvaguardias

La Ley Atómica establece con claridad los objetivos y alcances del programa nuclear checo, así como su compromiso con su uso pacífico y con la no proliferación nuclear. Tal como señala la misma legislación: "La energía nuclear puede ser utilizada, de acuerdo con los compromisos internacionales de la República Checa, solamente para propósitos pacíficos"[2].

[2] Ley No. 18/1997 acerca del Uso Pacífico de la Energía Nuclear.

La República Checa ha tenido una muy activa cooperación con un gran número de organizaciones internacionales, siendo miembro del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Agencia de Energía Nuclear de la OECD (NEA) y la EURATOM de la Unión Europea, además de otras organizaciones multilaterales como la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO) y la Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA), entre otras. El Gobierno checo considera a la energía nuclear un componente principal del balance energético del país y del bajo grado de dependencia externa de la matriz eléctrica. Además, está firmemente comprometido con el "Green Paper" y los lineamientos estratégicos en el campo de la energía que ha acordado la Unión Europea. Mediante la adopción de los lineamientos comunitarios el país cumplirá con todos los acuerdos internacionales relevantes en el campo de la energía nuclear, incluida la Convención sobre Seguridad Nuclear (Nuclear Safety Convention, en inglés). El Gobierno respalda a los organismos reguladores y a CEZ a.s. en la necesidad de un mejoramiento continuo y de la modernización de la industria nuclear del país, junto con el fortalecimiento de las instituciones de seguridad nuclear.

A.6.7 Recursos humanos

La Oficina Estatal para la Seguridad Nuclear (SÚJB) posee aproximadamente 170 empleados fijos, más un número variable de técnicos y expertos externos que apoyan sus funciones. De ellos, 110 son profesionales y 60 son inspectores. Además, financia y controla dos institutos de investigación nuclear y soporte técnico: el Instituto Estatal de Protección Radiológica y el Instituto Estatal de Protección Nuclear, Química y Biológica.

NRI Rez, la más importante compañía de investigación y desarrollo de tecnología nuclear del país, cuenta con cerca de 600 empleados fijos. Su propiedad se divide principalmente entre CEZ, SE (Compañía Eléctrica Eslovaca) y Skoda. En la actualidad participa de diversos proyectos de investigación y de modernización de centrales nucleares en la República Checa, en Eslovaquia y en otros países de Europa.

En la central nuclear de Temelín trabajan 972 empleados de CEZ, más un número variable de proveedores e inspectores externos que generalmente sobrepasan los 100. De aquellos 972, 300 personas trabajan directamente en operaciones, 150 en mantención, 30 en coordinación, 40 en otros departamentos y 180 en la sección de seguridad nuclear. Además, fuera de las instalaciones de la central de Temelín y principalmente en las oficinas centrales de CEZ en Praga, trabajan otros empleados ligados a la operación de la planta.

A.6.8 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear

Según las encuestas realizadas para la confección del último Eurobarómetro acerca de "Actitudes respecto a los desechos nucleares" de Junio de 2008, un 64% de los encuestados en la República Checa se declara firme o medianamente a favor de la producción de energía eléctrica en centrales nucleares. Este porcentaje, comparado con las encuestas realizadas en 2005 por la Eurostat, muestra un aumento de un 3% durante estos últimos 3 años. El país muestra uno de los más altos índices de apoyo a la energía nuclear de la Unión Europea, siendo solamente igualado por Lituania y seguido muy de cerca por Suecia, Eslovaquia, Finlandia y Hungría. Otros estudios realizados por la agencia STEM en la República Checa señalan que en 2007 un 59% de los encuestados se declara a favor de la energía nuclear.

La central nuclear de Temelín fue diseñada originalmente para contener 4 unidades generadoras, con una potencia eléctrica total de 3920 MWe. Debido a los cambios en el proyecto original, producto de la liberación del país, se construyeron solamente dos reactores con una potencia de generación eléctrica efectiva de 1960 MWe en conjunto. Desde el término del proyecto de construcción en 2001, ha estado en discusión el tema de la compleción de la central. En la actualidad, debido al complejo escenario energético internacional, la discusión ha tomado gran importancia y CEZ ha decidido llevar a cabo el proyecto, presentando un estudio de impacto ambiental como primera medida. Ello servirá para medir la voluntad política en el Gobierno y los partidos para llevar a cabo la iniciativa. La empresa se basa en el fuerte apoyo a la energía nuclear

que muestra la población, y en el más fuerte interés de blindarse de las importaciones de petróleo y gas. Las últimas encuestas realizadas en el país durante 2008 (por la agencia STEM), señalan que: un 67% de la población está a favor de seguir desarrollando la ingeniería nuclear en el país, un 54% apoya la construcción de una central núcleo-eléctrica moderna y que un 65% votaría a favor de completar la central de Temelín de realizarse un plebiscito.

El sector privado se encuentra participando activamente en el desarrollo de la industria nuclear, ya sea mediante su participación en la propiedad de CEZ o en la provisión de equipos y servicios para la operación y mejoramiento de las centrales. De realizarse el proyecto ampliación de la central de Temelín, el escenario más probable es que se obtenga el financiamiento mediante una combinación de préstamos bancarios y emisión de acciones. En estas operaciones financieras participaría activamente el sector privado.

El Gobierno actual de la República Checa, en manos de una coalición de centro-derecha liderada por Mirek Topolanek, se ha declarado interesado en el desarrollo nuclear del país, y contrario al veto político de los proyectos nucleares. El Ministro de Industria y Comercio ha señalado en numerosas oportunidades que el Gobierno no pretende tener un rol activo en el desarrollo de la industria nuclear, como de ninguna otra fuente de energía no renovable, pero debe garantizar que los proyectos nucleares serán evaluados de forma técnica y que se tomará la decisión más conveniente. Lo que sí interesa al Gobierno, sería el desarrollo de un plan energético a largo plazo donde evidentemente la industria nuclear tendrá un rol importante. Tanto la oposición como la coalición de Gobierno están divididas en torno al tema nuclear. En el Parlamento existe un empate perfecto entre el oficialismo y la oposición (100 diputados cada uno), y la formación de un Gobierno fue solo posible gracias a la abstención de algunos parlamentarios socialdemócratas. Dentro de la coalición gobernante, existen tres partidos: el Partido Cívico Democrático (81 diputados), la Unión Demócrata Cristiana (13 diputados) y el Partido Verde (6 diputados). Entre ellos, los únicos abiertamente

opuestos al desarrollo de la tecnología nuclear son los verdes. La oposición está conformada por: el Partido Socialdemócrata (74 diputados) y el Partido Comunista de Bohemia (26 diputados); cabe destacar que la oposición no actúa como una coalición. El Partido Socialdemócrata es mayoritariamente contrario a la ampliación de la capacidad nuclear, pero no apoya la decomisión de las centrales. El Partido Comunista apoya el desarrollo nuclear, pero es virtualmente imposible que entregue su apoyo al Gobierno. En este complejo escenario político, si el Gobierno apoya el proyecto de Temelín, se esperan complicadas negociaciones con el Partido Verde, que podrían terminar con su salida de la coalición. Ello generaría un Gobierno con minoría parlamentaria, que podría ser disuelto por la nueva oposición. El gran activo con el que cuenta el Primer Ministro en este tema, es el fuerte apoyo popular a la energía nuclear, y la posibilidad que ello le da de negociar con la oposición o de convocar a elecciones anticipadas.

A.6.9 Bibliografía

- České Energetické Závody – CEZ
- http://www.cez.cz
- Operation of Nuclear Power Plants of ČEZ in 2007 (PDF).
- www.cez.cz/edee/content/file/energie_a_zivotni_prostredi/nuclear-power-plants-report-2007.pdf
- Eurostat. Czech Republic - Internal Market Fact Sheet.
- http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/market/market_cz_en.pdf
- European Union Directorate-General for Energy and Transport.
- http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/pocketbook/2007_en.htm.
- Czech Republic - Energy Mix Fact Sheet.
- http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/mix/mix_cz_en.pdf.
- Nuclear Energy in the Czech Republic : WNA
- www.world-nuclear.org/info/inf90.html
- Nuclear Energy Agency Country Profiles – Czech Republic

- www.nea.fr/html/general/profiles/czech.html
- www.nea.fr/html/general/profiles/czech-annex.html
- EURATOM Supply Agency – Annual Report 2007
- http://ec.europa.eu/euratom/anreport_en.html
- Státní Uřad pro Jadernou Bezpečnost – SUJB (Oficina Estatal de Regulación Nuclear)
- www.sujb.cz
- Act No. 18/1997 on the Peaceful Uses of Nuclear Energy ... (Ley checa)
- National Legislative and Regulatory Activities, 2002-2003, NEA.

A.7 Suiza

A.7.1 Contribución de la Energía Nuclear a la matriz energética

Estructura del sistema eléctrico

Suiza consumió 900.000 TJ de energía en el año 2005. El consumo eléctrico representa tan solo el 23% del total de energía consumida en ese país. El consumo eléctrico per cápita supera al de la Unión Europea en casi un 20%, pero el índice del consumo total eléctrico per cápita es algo menor que el de la UE.

En Suiza, la electricidad es generada principalmente con energía hidroeléctrica, un 56,2% del total, y energía nuclear la cual representa el 39,5% de la matriz. Favorablemente, este mix ha permitido que los niveles de emisión de CO2 sean los más bajos de Europa occidental (5,8 t por año, versus 8,2 t de la UE y 20,6 t de Estados Unidos), logrando cumplir los compromisos del gobierno Suizo en el tratado de Kioto sobre su disminución de emisiones de dióxido de carbono.

La Tabla A.7.1 muestra el aumento de la participación de la energía nuclear en la matriz eléctrica de Suiza.

	1998		1999		2000		2001		2002	
	TW·h	%	TW·h	%	TW·h	%	TW·h	%	TW·h	%
Hydro	34.3	56.3	40.6	60.9	37.9	57.9	42.3	60.2	36.5	56.2
Nuclear	24.3	40.0	23.5	35.3	24.9	38.2	25.3	36.1	25.7	39.5
Fossil	2.3	3.7	2.6	3.8	2.5	3.9	2.6	3.7	2.8	4.3
Total	60.9	100.0	66.7	100.0	65.3	100.0	70.2	100.0	65.0	100.0

Tabla A.7.1 Composición en la Generación de Electricidad (Fuente: IAEA 2003)

Para el año 2005 el impacto de la energía nucleoeléctrica en este país aumentó, existiendo una disminución en la participación de la hidroeléctrica, sin embargo, ésta última sigue siendo el mayor aportante.

La Tabla Nº 2 presenta la distribución en el consumo de la energía eléctrica en Suiza. Tal como se puede apreciar, el mayor consumo lo absorbe el sector industrial y de manufactura, seguido por el sector doméstico. En tercer lugar, servicios generales.

Por lo tanto, la generación de energía eléctrica es básica para el desarrollo de las actividades relevantes de la economía de este país.

	1997		1998		1999		2000		2001	
	TW·h	%	TW·h	%	TW·h	%	TW·h	%	TW·h	%
Households	14.9	30.6	15.1	30.5	15.6	30.4	15.7	30.0	16.1	29.9
Agriculture	0.9	1.9	0.9	1.9	0.9	1.9	1.0	1.9	1.0	1.9
Industry+Craft	16.2	33.4	16.7	33.5	17.0	33.2	18.1	34.5	18.3	34.1
Services	12.7	26.1	12.9	26.1	13.6	26.6	13.4	25.6	14.0	26.1
Transportation	3.9	8.0	4.0	8.0	4.1	7.9	4.1	8.0	4.3	8.0
- Railways only	(2.4)	(5.0)	(2.5)	(5.0)	(2.5)	(5.0)	(2.6)	(5.0)	(2.7)	(5.0)
Total	48.6	100.0	49.6	100.0	51.2	100.0	52.4	100.0	53.7	100.0

Tabla A.7.2 Uso de la Electricidad en Suiza (Fuente: IAEA, 2003).

Industria eléctrica

La industria eléctrica es un mercado "teóricamente" regulado, es decir, desde 1990 el gobierno ha intentado liberarlo, siendo muy pocos los avances en este punto. El esquema a continuación permite entender la estructura de este mercado en Suiza.

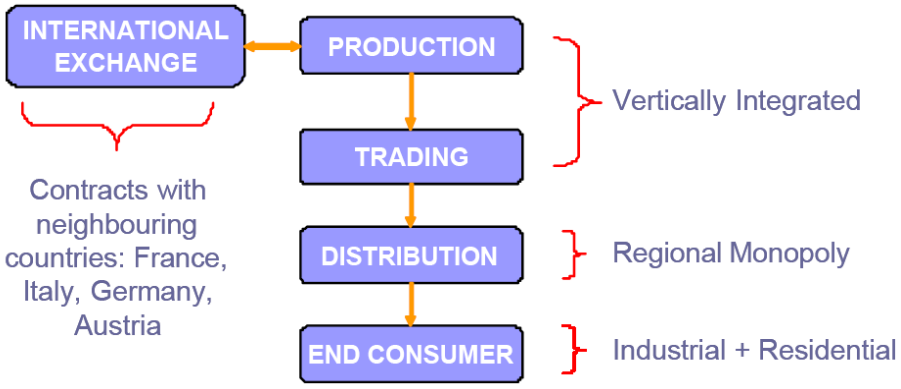


Figura A.7.1 Estructura mercado eléctrico suizo

Tal como se puede apreciar, los consumidores (industriales y residenciales), compran electricidad directo de la distribuidora regional a un precio fijado por el gobierno. La distribución de la energía es un monopolio regional y el comercio minorista (retailer) tiene un rol pasivo en la intermediación entre el *trader* y los consumidores. Es decir, no tiene un puesto de poder en este mercado. Los traders y generadores de

electricidad se encuentran verticalmente integrados y son los únicos que pueden importar y exportar electricidad desde y hacia países vecinos, respectivamente.

Suiza tiene alrededor de 2300 estaciones de poder, y el 57% de la producción es generado sólo por las 25 plantas más grandes, en su mayoría nucleares e hidráulicas. Sólo el 1% de la producción la realizan alrededor de 2000 estaciones pequeñas, configurando una producción de energía eléctrica altamente concentrada. Por ejemplo, VSE, Swiss Association of Electricity Suply Undertakings, y Swisselectric son las principales compañías en el sector eléctrico. VSE entrega el 90% de la electricidad (agrupando a 460 compañías eléctricas), mientras que Swisselectric, agrupa a 6 empresas supraregionales (80%) con el objeto de promover sus intereses. Tres de estas supraregionales son de propiedad de los cantones (públicas) y las otras privadas. Cabe destacar que la mayoría de las compañías eléctricas son distribuidoras y operan a nivel municipal o de cantón. De hecho, las compañías locales suministran casi el 70% de la electricidad.

Un punto importante a destacar es que Suiza no es miembro de la UE, y su red eléctrica es parte de la UCTE (Union for the Coordination of Transmission of Electricity). Asimismo, desde el año 2005, este país comenzó a importar electricidad para llenar los vacíos en su producción (considerando que el consumo de electricidad ha ido en aumento, a una tasa del 2% anual desde 1980). Al mismo tiempo, Suiza actúa como un canal distribuidor de electricidad entre Francia e Italia – considerando la insuficiente infraestructura para interconectar ambos territorios – siendo uno de los motivos que las exportaciones a Italia sean mayores que las importaciones desde Francia. El cuadro a continuación representa la capacidad de intercambio que tiene Suiza.

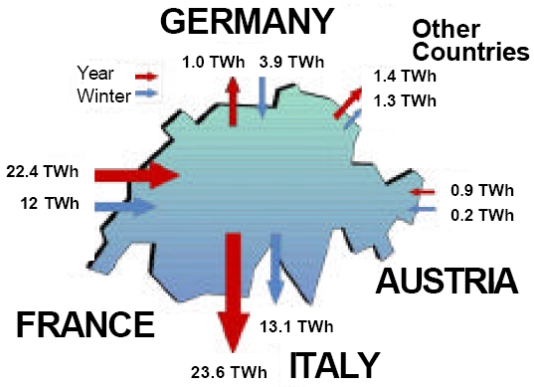


Figura A.7.2: Intercambios con otros países de Europa

Es relevante destacar que en meses de verano, y dado el alto caudal de los ríos, las plantas nucleares pueden ser cerradas para su mantenimiento, y Suiza puede depender de la generación hidroeléctrica. Como consecuencia de un exceso de producción, el país exporta electricidad, mayormente a Italia, a un precio mayor. En cambio, en los meses de invierno la demanda aumenta en un 20% y la generación propia no es suficiente. Por lo tanto, es en este período cuando el país debe importar electricidad, mayormente de Alemania y Francia. A continuación se presenta la Figura A.7.3, que resume el ciclo del consumo eléctrico mensual de Suiza, y las fuentes de generación que la suplen en cada uno de los meses.

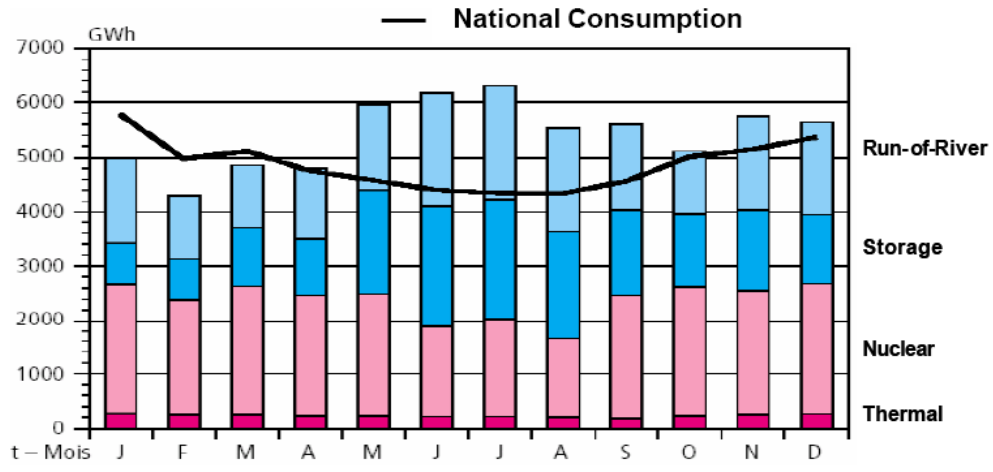


Figura A.7.3 Consumo y Abastecimiento eléctrico Suiza mensual

Centrales Nucleares

Tal como se indicó en un comienzo, Suiza genera alrededor de un 39% de su electricidad con centrales nucleares. Actualmente cuenta con cinco centrales en funcionamiento, las cuales se han construido en dos generaciones. La primera generación, considera las centrales de Beznau I, Beznau II y Mülhemberg, y la segunda, Gösgen y Leibstadt. A continuación se presenta un resumen de las principales características de cada una de ellas.

Tabla A.7.3 Información General de Centrales Nucleares Suiza. Fuente: IAEA, 2003.

Station	Type	Capacity	Operator	Status	Reactor Supplier
BEZNAU-1	PWR	365	NOK	Operational	WEST
BEZNAU-2	PWR	365	NOK	Operational	WEST
GOESGEN	PWR	970	KKG	Operational	KWU
LEIBSTADT	BWR	1165	KKL	Operational	GETSCO
MUEHLEBERG	BWR	355	BKW	Operational	GETSCO

Station	Construction Date	Criticality Date	Grid Date	Commercial Date	Shutdown Date
BEZNAU-1	01-Sep-65	30-Jun-69	17-Jul-69	01-Sep-69	
BEZNAU-2	01-Jan-68	16-Oct-71	23-Oct-71	01-Dec-71	
GOESGEN	01-Dec-73	20-Jan-79	02-Feb-79	01-Nov-79	
LEIBSTADT	01-Jan-74	09-Mar-84	24-May-84	15-Dec-84	
MUEHLEBERG	01-Mar-67	08-Mar-71	01-Jul-71	06-Nov-72	

En conjunto, las cinco centrales tienen una capacidad de generación de electricidad de 3220 MWe.

Figura A.7.4 Ubicación de Centrales Nucleares, Suiza 2008.

A.7.2 Marco Institucional y Regulatorio

Generalidades

Las principales reglamentaciones para la autorización y regulación, la supervisión y la inspección de instalaciones nucleares están normadas dentro del Acta de Energía Nuclear (Nuclear Energy Act), la Ordenanza de Energía Nuclear (Nuclear Energy Ordinance), el Acta de Protección Radiológica (Radiological Protection Act) y la Ordenanza de Protección Radiológica (Radiological Protection Ordinance).

La legislación y principios principales sobre la energía nuclear se establecen en el Acta Federal de Energía Atómica de 1959, la cual fue actualizada en 1978 y reemplazada más tarde en febrero del 2003 (y entrando en vigencia el año 2005) por el Acta de Energía Nuclear. Esta Acta involucra los siguientes aspectos: da apertura a la construcción de nuevas plantas nucleares (deja abierta la opción nuclear), con la posibilidad de hacer referéndums públicos con distintas finalidades: rechazar la construcción y emplazamiento de una planta, aumentar la seguridad e inspección de la planta a construir, restricciones en cuanto al desmantelamiento, monitoreos de desechos nucleares, solicitar un mayor respaldo gubernamental en el manejo de los desechos, entre otros. En otras palabras, el Acta de Energía Nuclear entrega las bases en torno a la seguridad e inspección que la entidad Inspectora (Inspectorate, HSK)

realiza, además de velar por la aplicación de las regulaciones respectivas y las licencias. Asimismo, establece los objetivos de la construcción y operación de instalaciones nucleares, y que, cualquier cambio en sus propósitos, naturaleza o tamaño, requiere de licencias generales antes de solicitar las técnicas. En esta Acta, se define claramente que las dependencias nucleares son diseñadas para la obtención de energía nuclear, su extracción, producción, uso, procesamiento, o almacenamiento de material nuclear, además del desecho de material radiactivo.

Por lo tanto, para construir una nueva planta de energía nuclear se debe adquirir una licencia general (sujeta a referéndum) y luego sumar dos licencias adicionales, una para la construcción y otra para su operación. Es importante destacar que siempre es posible apelar contra estas licencias.

Los requisitos para optar a una licencia general incluyen:

- Un plan para desmantelar las instalaciones o el monitoreo y clausura de los depósitos geológicos en profundidad.
- Demostrar la viabilidad de la eliminación de desechos radiactivos producidos en las instalaciones.
- Demostrar que se cuenta con un sitio adecuado para disponer los depósitos subterráneos para el material de desecho.

Por lo tanto, la construcción de plantas de energía nuclear debe obtener una “autorización general”, respaldada por el Consejo Federal (Gobierno). Al mismo tiempo debe ser ratificada por la Asamblea Federal. Tal como se indicó, tal autorización general puede ser sometida a un referéndum público (el cual se realiza solamente si se reúnen 50.000 firmas), donde el electorado puede rechazar el proyecto previamente aprobado. Ahora bien, tal como se puede intuir, muchas veces existen grupos de poder (tales como municipios o cantones) que fuerzan a las autoridades para rechazar la construcción de centrales nucleares. Es por ello que el Acta Federal de Energía Atómica declara que las leyes de los cantones son tomados en cuenta siempre y cuando sean razonables. Es decir, es finalmente el Departamento Federal de Medioambiente, Transporte, Energía y Comunicaciones el organismo que garantiza la

autorización de construcción y explotación. Del mismo modo, el cantón puede apelar a esta moción, en caso de que hayan rechazado la construcción de la central.

En cuanto a la seguridad y supervisión de las plantas nucleares, esta Acta establece que "nadie puede dar instrucciones técnicas a instituciones supervisoras, las cuales están formalmente separadas de las autoridades responsables de autorizar las plantas" (art.7/2).[3]

La institución encargada de la regulación de las instalaciones nucleares es el Cuerpo Federal de Inspección de Seguridad Nuclear Suizo (Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, HSK). Por otra parte, la Oficina Federal de Energía es la autoridad encargada de supervisar la seguridad nuclear y establecer las salvaguardias. Si bien el HSK es parte de esta entidad gubernamental, desde el año 2003 hay intenciones de independizarlo, lo cual se espera resolver el 2009.

El HSK es una entidad regulatoria independiente de las organizaciones que puedan estar vinculadas a la promoción o utilización de energía nuclear. El Acta de Energía Nuclear estipula este punto, expresando que la regulación debe ser proveída por instituciones independientes al sector. Esta institución utiliza un sistema orientado a la administración, la cual ha sido certificada ISO 9001 (2001). En el año 2007, contaría con certificación ISO 14001 y OHSAS 18001.

Las leyes en torno a la protección contra la radiación se encuentran estipuladas en el Acta de Protección contra la Radiación, la cual se aplica tanto a sectores de la medicina, la industria y centros de investigación.

Para la importación, exportación, tránsito y traslado de combustible nuclear, se requiere una licencia, la cual es otorgada por la Oficina Federal de Energía Suiza (BFE). El transporte debe cumplir la reglamentación establecida por la IAEA en las Series de Seguridad Nº 6 (Safety Series).

[3] Nobody can give technical instructions to supervisory bodies, who are formally separate to the authorities responsable for granting authorisation (art 7/2).

La responsabilidad civil en caso de daños nucleares está cubierta en el Acta de Responsabilidad de la Energía Nuclear de 1983. Aquí se establece que los operadores de las plantas nucleares tienen responsabilidad ilimitada y que al mismo tiempo deben contratar un seguro de una compañía suiza, con cobertura de 1 billón de francos suizos, para cada instalación. Además de 100 millones para cubrir intereses y costos asociados. La misma cobertura se aplica para las operaciones de transporte, donde el operador es el responsable. Para el caso del tránsito de material nuclear, la prima del seguro debe cubrir al menos 50 millones de francos suizos, además de 5 millones de francos suizos para intereses y costos asociados.

El Consejo Federal creó un Fondo de Daños Nucleares (Nuclear Damage Fund). Este fondo es independiente y es administrado por la Oficina Federal de Energía. El propósito de este fondo es de cubrir a los operadores nucleares hasta por 1 millón de francos suizos, por cada instalación nuclear o por cada operación de transporte (además de 100 millones para intereses y costos asociados), en caso de que los seguros privados exigidos no alcancen a cubrir los pagos o se encuentren excluidos en su cobertura. Los aportantes de este fondo son los mismos operadores y los titulares de las licencias de transportes.

Asimismo, y tomando en cuenta los elevados costos de desmantelamiento de las plantas nucleares (estimados en 1,5 billones de francos suizos), se creó en 1984 un Fondo de Decomisionamiento (desmantelamiento). Está legalmente desvinculado de los operadores de las centrales, pero los propietarios de las centrales pagan contribuciones anuales al fondo. Dato importante, es que a fines del 2002, se habían recaudado 844 millones de francos. El objetivo es que este fondo pueda invertir a modo de disminuir cualquier riesgo envuelto. Sin embargo, este fondo no se puede invertir en las plantas nucleares.

Por último, los costos totales en el manejo de residuos nucleares se estiman cercanos a 13,1 billones de francos suizos. La mayor proporción de estos costos eran absorbidos por los dueños de las plantas nucleares (7,24 billones en 1998). Es por ello que el Fondo de Manejo de Residuos Nucleares, mecanismo independiente de los

operadores, establece que los dueños deben transferir estas reservas a lo largo de los años. Además, deben hacer pagos anuales a modo de poder pagar los costos en el manejo de los residuos cuando cierren las instalaciones. Por lo tanto, los costos de manejo de residuos son absolutamente absorbidos por los dueños de las plantas. Este fondo acumulaba a fines del 2002 1.432 millones de francos suizos.

En conclusión, Suiza legisla en base a distintas aristas el manejo y la administración de la energía nuclear, los cuales se resumen en: Legislación General; Organización y Estructura; Protección contra la Radiación; Régimen Regulatorio para Instalaciones Nucleares; Manejo de Residuos Nucleares; y Responsabilidad Civil.

A continuación se profundiza sobre los aspectos legales y regulatorios en torno a la energía nuclear en Suiza. Para ello se utilizará como referencia directa el cuarto reporte de Suiza frente a la Convención de Seguridad Nuclear del año 2007, en donde se detallan los avances de este país en materia legal y regulatoria.

A.7.2.1 Especificaciones Marco Legal y Regulador

Seguridad de las instalaciones

A modo de asegurar el uso seguro y pacífico de la energía nuclear, el Gobierno suizo ha establecido la seguridad de las instalaciones y la protección contra la radiación en cuatro niveles.

Primer Nivel: Constitución Federal

La legislación en torno a la protección de radiación y el uso de la energía nuclear está conectada con políticas a nivel nacional. Es decir, las autoridades exclusivas para el establecimiento de las normativas en estos campos son el Parlamento Federal y el Consejo Federal (Gobierno; Federal Council).

Segundo Nivel: Leyes Federales

Tal como se anticipó, las principales leyes sobre energía nuclear se estipulan en el Acta de Energía Nuclear y el Acta de Protección Radiológica.

En cuanto al Acta de Energía Nuclear esta estipula que las instalaciones nucleares tienen el objetivo de producir, usar, procesar o almacenar materiales nucleares así como también la eliminación de desechos nucleares. Los puntos relevantes de esta Acta se resumen como:

- Indicación de principios básicos en materia de seguridad nuclear (precauciones, protección del medioambiente, ciudadanía) a modo de no permitir la proliferación nuclear.
- Establecimiento del mecanismo de licencias para poder obtener las diferentes autorizaciones.
- Establecimiento de responsabilidades del titular de la licencia (desde seguridad en las instalaciones, revisiones periódicas de la planta nuclear, entre otras).
- Regulaciones en torno al manejo de desechos nucleares y desmantelamiento de las instalaciones.
- Dictámenes especiales sobre los dispositivos geológicos para los desechos radiactivos.
- Instalación de autoridades supervisoras a modo de preservar la seguridad de la planta.
- Responsabilidad penal.

Por su parte, el Acta de Protección Radiológica cubre los aspectos de protección de los trabajadores de las plantas nucleares. Además estipula la protección contra emisiones al medioambiente que cualquier actividad en la planta pueda provocar. Los puntos relevantes considerados son los siguientes:

- Principios básicos: dosis máximas de exposición a radiación
- Protección en las personas que dada su ocupación están expuestos a la radiación (también incluye a la población en general).
- Evaluación de experiencias internacionales (por ejemplo, actualización en prácticas y tecnologías).
- Monitoreo permanente del medioambiente para períodos de elevada radiación.
- Manejo de residuos nucleares.

De esta forma, ambas actas permiten resguardar la seguridad de la energía nuclear, ya sea a partir de la entrega de licencias hasta su regulación.

Tercer Nivel: Ordenanzas

Si bien son de un nivel menor a las gubernamentales, las ordenanzas proveen leyes que se aplican sobre ápices relevantes para el manejo de energía nuclear.

Cuarto Nivel: Pautas Reguladoras

Están establecidas y confeccionadas por las autoridades supervisoras (Inspectorate o HSK). Es importante destacar que en este nivel el HSK expresa que algunas son de carácter obligatorio y otras no. Es decir, los operadores de NPP pueden o no tomar estas medidas (o bien, pueden buscar alternativas).

Requerimientos nacionales de seguridad y regulaciones

Suiza ha adquirido acuerdos internacionales a modo de que su legislación contemple especificaciones sobre seguridad nuclear. Específicamente, en conjunto con miembros del WENRA firmaron para incluir en su legislación, para el año 2010, los Safety Reference Levels (SRLs). Los SRLs definen los niveles de seguridad para las instalaciones nucleares en Europa, los cuales ya han sido adoptados en gran mayoría por las centrales suizas.

Por su parte el HSK ha trabajado para incluir en la legislación los acuerdos sobre los reactores nucleares y también sobre desechos y desmantelamiento nuclear (los cuales debieran concluir en los años 2010 y 2008 respectivamente).

Sistema de Licencias que respalden las instalaciones. Prohibición del funcionamiento sin licencia

El nivel de importancia en la obtención de licencias para la construcción y operación de las centrales nucleares es tal, que en el Acta de Energía Nuclear se estipula que tanto la construcción como la operación de instalaciones nucleares sin la licencia correspondiente, corresponde a un atentado criminal. Los tipos de licencias que Suiza estipula son los siguientes:

Licencia General (General Licence)

A partir de 1978 se aplica a las nuevas centrales nucleares y determina el lugar donde se emplazará el proyecto, y las principales aristas del mismo. Además es prerrequisito para adquirir las licencias posteriores. Es entregada por el Consejo Federal pero debe ser previamente autorizada por el Parlamento, y en caso de que se solicite, por un referéndum.

Licencia para construcción, encargados, operación y decomisionamiento

De nivel más técnico, toca aspectos en torno a la construcción de la central, y se relaciona directamente con la seguridad de las instalaciones. Es entregada por el Departamento de Medioambiente, Transporte, Energía y Comunicaciones.

Sistema de inspecciones regulares y asesorías en el cumplimiento de las licencias y especificaciones reglamentarias y técnicas

La entidad que entrega las bases legales para la inspección de las instalaciones nucleares es el HSK (leyes en la Acta de Energía Nuclear). El Acta dispone que el HSK tenga facultades ilimitadas para acceder a la revisión de las instalaciones. El objetivo de las inspecciones regulares consiste en recolectar evidencia que permite verificar la calidad de aquellos que obtuvieron sus licencias. Del mismo modo, supervisar que estén cumpliendo con las especificaciones básicas estipuladas en las licencias.

Regulaciones en las licencias: suspensión, modificación o revocación

Según sea la licencia en cuestión, las entidades que las entregan tienen el derecho y deber absoluto de suspender, modificar o revocarlas cuando así lo estipulen (por ejemplo, si hay incumplimiento). Del mismo modo, las entidades supervisoras tienen el deber de regular y entregar las medidas necesarias para revocar cualquier situación de amenaza o de incumplimiento observada.

A.7.2.2 Especificaciones de Entidad Reguladora

Creación de una entidad regulatoria acorde con el marco legal establecido (incluye entrega de recursos financieros y humanos para el cumplimiento de sus responsabilidades)

La entidad reguladora de Suiza se compone de las siguientes unidades organizacionales:

- Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (HSK): autoridad en materia de seguridad nuclear y protección contra la radiación.
- Safeguards and Protection against Sabotage of Nuclear Facilities Section (SK) of the Swiss Federal Office of Energy (BFE): autoridad supervisora de la seguridad nuclear y garantías.

De forma adicional, la Comisión Federal de Seguridad Nuclear (Swiss Federal Nuclear Safety Commission, KSA) es la encargada de avisar al Consejo Federal y a la UVEK cualquier situación irregular.

Asegurar una separación entre las funciones del cuerpo regulatorio con aquellos involucrados con el uso y/o promoción de la energía nuclear

Las centrales nucleares son operadas por compañías privadas. Si bien los cantones y las municipalidades tienen la mayor participación de estas compañías, las entidades administrativas reguladoras no tienen relación algún con los operadores. Es más, la legislación Suiza no permite ningún tipo de vinculación entre éstas y las plantas nucleares.

Estructura Institucional

La siguiente representa la estructura organizacional y las relaciones existentes entre las entidades reguladoras Suiza para la energía nuclear y diferentes organizaciones estatales:

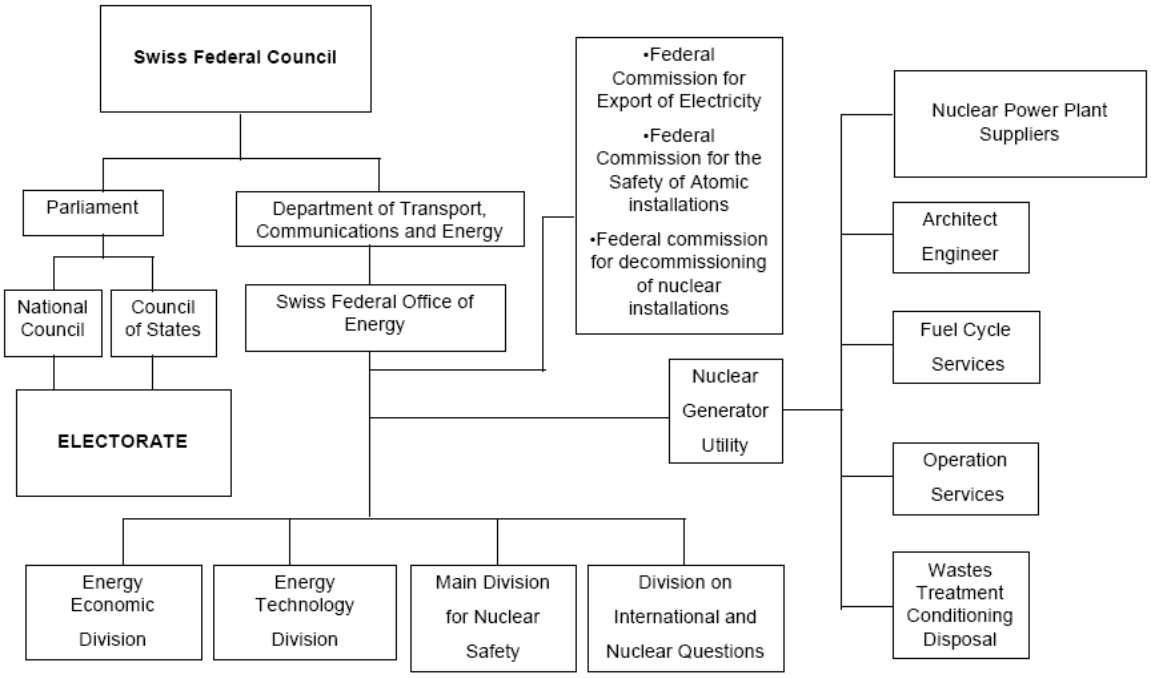


Figura A.7.5: Estructura Institucional Suiza para el Sector Nuclear (IAEA, 2003)

El Departamento de Medioambiente, Transporte, Comunicaciones y Energía (UVEK) es una entidad regulatoria que reporta al Consejo Federal Suizo.

Por su parte, la Oficina Federal de Energía (BFE), quien a su vez regula, reporta al UVEK. El BFE está a cargo de la ejecución de las leyes en materia energética. Al mismo tiempo, entrega soporte en la investigación sobre energía nuclear.

El HSK es parte del BFE. La Comisión de Seguridad de Instalaciones Atómicas reporta al igual que el otro grupo de estamentos, al Consejo Federal Suizo, a través del BFE. El HSK trabaja en un nivel más técnico. Es el encargado de informar públicamente a través de reportes, sobre sus conclusiones y consideraciones.

A.7.3 Tecnología: Especificaciones generales y proveedores

El diseño y construcción de las centrales nucleares suizas están basadas en el modelo estadounidense (Beznau I y II, Mühlemberg y Leibstadt) y el modelo alemán

(Gösgen). Ahora bien, para el caso de las centrales más nuevas, Leibstadt y Gösgen incluían a diferencia de las primeras, una protección contra choques aéreos.

A.7.3.1 Especificaciones técnicas

A continuación se presenta una tabla que recoge las principales características técnicas de las centrales nucleares suizas (2007), publicadas en el cuarto informe de este país a la Convención de Seguridad Nuclear.

	First generation NPPs			Second generation NPPs	
	Beznau I	Beznau II	Mühleberg	Gösgen	Leibstadt
Licenced thermal power P_{th} [MW_{th}]	1130	1130	1097	3002	3600
Nominal net electrical power P_{el} [MW_{el}]	365	365	355	970	1165
Reactor type	PWR	PWR	BWR	PWR	BWR
Containment type	Large dry, free standing steel inside concrete building	Large dry, free standing steel inside concrete building	Pressure suppression, Mk I inside concrete building	Large dry, free standing steel inside concrete building	Pressure suppression, Mk III inside concrete building
Normal heat sink	River Aare	River Aare	River Aare	Wet cooling tower (River Aare)	Wet cooling tower (River Rhine)
Number of reactor coolant pumps	2	2	2	3	2
Number of turbine sets	2	2	2	1	1
Number of fuel assemblies	121	121	240	177	648
Fuel	UO_2 (+MOX)	UO_2 (+MOX)	UO_2	UO_2 (+MOX)	UO_2
Number of control assemblies	25	25	57	48	149
Reactor supplier	W	W	GE	KWU	GE
Turbine supplier	BBC	BBC	BBC	KWU	BBC
Site Licence	1964	1967	1965	1972	1969
Construction licence	1964	1967	1967	1973	1975
First operation licence	1969	1971	1971	1978	1984
Commercial operation	1969	1971	1972	1979	1984
Backfitted bunkered automatic ECCS and residual heat removal system since	1993	1992	1989	Included in the original design	Included in the original design
Filtered containment venting system since	1993	1992	1992	1993	1993

Tabla A.7.4: Características técnicas de centrales nucleares, 2007

A.7.3.2 Proveedores de Equipos y otros servicios

Los proveedores de las plantas nucleares se resumen a continuación:

- ABB, Asea Brown Boveri AG: Planta nuclear, elementos para manejo de desechos nucleares, combustible LWR, canales de combustible, varillas de control para BWR, servicios en el arreglo de combustible, servicios nucleares, servicios de ingeniería.
- Colenco Power Consulting Ltd: estudio de tecnologías, proceso de ofertas, asesoría de contratos, compra de sistemas nucleares, manejo de desechos nucleares y reacondicionamiento, entrenamiento para emergencias.
- Elektrowatt Engineering Services Ltd: Diseño e ingeniería de sistemas nucleares, especificaciones de contención en caso de accidentes graves, análisis estadístico de seguridad, acondicionamiento de residuos sólidos, tratamiento de residuos líquidos, incineración de desechos radiactivos.
- GE Nuclear Energy, GETSCO: servicios integrales y completos para modificaciones, actualizaciones. Soporte externo, recambio del combustible de BWR, barras de control, canales de combustible y reactores avanzados (600-1300 MWe).

A.7.3.3 Proveedores para la operación y mantención

- ABB, Asea Brown Boveri AG
- ARC Machines, Inc.
- GE Nuclear Energy (GETSCO)
- ICT Inter Control Technology AG
- Pedi AG
- Sulzer Thermtec Ltd, Nuclear services and valves

A.7.3.4 Entrenamiento a Operadores

- Reaktorschule PSI: Formación teórica para personal que opera en instalaciones nucleares. En todos los niveles, hasta formación de ingenieros involucrados en labores de mantención de las instalaciones.

A.7.3.5 Combustible Nuclear

Los dueños de las centrales nucleares son los responsables de planificar y tomar las decisiones respecto al ciclo del combustible. El gobierno en este punto sólo actúa como un subsidiario en la administración del combustible. Por ejemplo, vela por el correcto manejo y respetar los acuerdos de no proliferación que tiene el país. A continuación se especifica quienes son los proveedores de Uranio y de los servicios de enriquecimiento del mineral y su reprocesamiento.

El Uranio es adquirido de tres fuentes principales: Asociaciones o joint-ventures para su producción, contratos de largo plazo y contratos en el *spot market*.

El enriquecimiento es proveído por los Estados Unidos, Rusia y la Comunidad Europea (Francia, Alemania, Gran Bretaña y Holanda). Los elementos combustibles son manufacturados en Estados Unidos, la Comunidad Europea (Bélgica, Alemania, Gran Bretaña, España y Suecia) y Rusia.

Para el reprocesamiento hay contratos establecidos con COGEMA y BNFL, los cuales cubren un tercio del material irradiado. En la central de Beznau I, se han utilizado desde 1978 elementos del tipo MOX que incluyen plutonio reciclado. Hoy en día, el uso de MOX es un procedimiento operacional estandarizado para las plantas Beznau. Gösgen también utiliza MOX, desde 1997.

Seguridad y Protección Nuclear

Suiza ha impuesto dentro de su reglamentación que la seguridad en las centrales nucleares es prioritaria. Es decir, el gobierno suizo ha desarrollado diferentes mecanismos para velar por la seguridad de quienes trabajan dentro de las centrales como de la sociedad como un todo. A continuación se hace referencia a los aspectos más destacados sobre materia de seguridad nuclear.

Seguridad a través de la Calidad

Las plantas nucleares suizas han desarrollado una administración basada en la calidad, enfocado en estándares y lineamientos internacionales, tales como las "IAEA Safety Series 50-C/SG-Q: Quality Assurance for Safety in NPPs and other Nuclear Installations". Todas las centrales han implementado un sistema de administración integrado y están certificados ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001. Al mismo tiempo, todos los sistemas administradores de las centrales están acorde a los nuevos requerimientos de la IAEA GS R-3: "Management Systems for Facilities and Activities".

El HSK aprueba y supervisa el correcto funcionamiento de los sistemas de calidad. Para ello requiere de reportes periódicos sobre temas específicos y los cursos de acción que éstos conllevaron.

Asesoría y Verificación de la Seguridad

El HSK realiza por lo menos una revisión de seguridad periódica (PSR) cada diez años. En esta se revisa los niveles de seguridad y cualquier tipo de necesidad que la planta pueda requerir para mejorar su funcionamiento y asegurar la seguridad de la misma. El PSA (probabilistic safety análisis) es un análisis periódico que permite verificar que existe un alineamiento entre las legislaciones y lo que en la práctica se aplica en las centrales nucleares.

Ahora bien, Suiza cuenta con dos generaciones de centrales nucleares, por lo que en cuanto a inspección se refiere, debe tener en cuenta diferentes aspectos que evaluar, dada la complejidad de los diseños, mejoras tecnológicas, etc. A continuación se hace una breve reseña de las revisiones principales que se realizan a las centrales nucleares:

- Revisión y asesoría de sistemas de seguridad directos y relacionados, y componentes: Incluye la calificación del personal, aseguramiento de la calidad en los procesos productivos, especificación de los sistemas usados, medición de la experiencia de los operadores de las plantas, planes implementados y probados por la central.

- Revisión de las bases del diseño de los análisis de accidentes: el objetivo es verificar si existe documentación sobre el comportamiento esperado en caso de un problema un funcionamiento anormal de la planta.

En el año 2004, el HSK comenzó la introducción y el desarrollo de una visión más integrada para velar por la seguridad en las plantas nucleares. De esta forma, se esperaba contribuir a una estrategia general respecto al tema. Es por ello que este modelo tiene dos facetas. Por una parta, el HSK requiere información sobre el diseño, estado y efectividad de todos las partes involucradas en la seguridad. De este modo, poder asesorar a la central nuclear en su seguridad. Por otra parte, el HSK debe velar para que en cada planta se ejecuten las acciones adecuadas para enfrentar cualquier problema o debilidad en el sistema de seguridad. De esta forma, el modelo asegura la trazabilidad de las sugerencias que la entidad entregue a la central. A continuación se presenta la tabla utilizada para asesorar la seguridad en las centrales nucleares en materia de seguridad.

Subject / Goals		Requirements		Operational experience	
		Design requirements	Operational requirements	State and behaviour of the plant	State and behaviour of man and organisation
Safety functions	Controlling reactivity				
	Cooling the fuel				
	Confining radioactive materials				
	Limiting exposure to radiation				

Levels of defence in depth	**Level 1** Prevention of abnormal operation and failures				
	Level 2 Control of abnormal operation				
	Level 3 Control of accidents within the design basis				
	Level 4 Control of severe plant conditions				
	Level 5 Mitigation of the radiological consequences of significant external releases				
Barrier integrity	Fuel integrity				
	Integrity of the primary cooling system boundary				
	Containment integrity				
Overall safety	Multiple level aspects				

Tabla A.7.5 Tabla para evaluar seguridad en centrales nucleares

Protección Radiológica

Basado en las recomendaciones de la Comisión de Protección Radiológica (ICRP), el Acta de Protección Radiológica suiza y la Ordenanza de Protección Radiológica (1994), el HSK ha ido modificando la legislación paulatinamente para mejor la cobertura de estas legislaciones. Los lineamientos principales en este tópico están referidos para las zonas donde se instala una planta nuclear; cuidados en las operaciones de las centrales nucleares; niveles de exposición permitidos para quienes trabajan en las

centrales; manejo de material radiactivo; medición de los niveles de irradiación que reciben los vecinos a las centrales nucleares; entre otros.

A continuación se presenta un cuadro con las medidas para mantener niveles adecuados de radiación:

Plant	Typical outage collective dose [man-mSv]	Main dose reduction measures
Beznau NPP	250	Temporary lead shielding (70 tons). Low dose rate areas for personnel (< 0.005 mSv/h). Individual acoustic dose and dose rate warning. Strong emphasis on training and motivation. Daily job-specific follow up of doses vs. planning including interventions if necessary to keep the NPP-internal dose constraint of 10 mSv p.a. for workers. Remote tools for primary system inspection. Improved water chemistry, reducing fixation of colloids on primary system surfaces. Exchange of the steam generators in both plants. With these new steam generators the inspection and maintenance activities are reduced, leading to less doses.
Mühleberg NPP	900	Temporary lead shielding (85 tons). Permanent racks for supporting removable lead sheets. Replacement of components with "Stellite" parts by components made from a cobalt-free alloy. Daily follow up of job specific actual doses vs. planning doses. Zn-64-depleted zinc feed in primary water. Online noble chemistry (OLNC) primary water operation mode affected a reduction of the dose rates of the recirculation pipes.

Tabla A.7.6: Medidas de niveles de radiación

Preparación en caso de Emergencia

Cada planta nuclear debe tener un plan específico para enfrentar una emergencia, el cual debe estar documentado. La información básica debe incluir:

- Procedimientos Operativos en caso de situaciones anormales
- Procedimientos Operacionales en caso de emergencia
- Guía para manejar accidentes graves

- Procedimiento para comunicar y reportar al HSK y al NAZ (National Emergency Operations Centre) en caso de eventos radiológicos
- Procedimientos para comunicar y reportar a la policía del cantón eventos que empiecen a evolucionar.

Un punto importante es destacar que el sistema de comunicación es testeado una vez al mes, a modo de asegurar su funcionamiento y vigencia.

Los procedimientos para dar alerta se resumen a continuación:

1. Advertencia: se coloca en el sistema cuando un ratio de nivel de radiación excede lo permitido dentro del contenedor. Telefónicamente se da aviso a la policía del cantón, gobierno federal y al municipio al tanto por posible alerta. El NAZ debe informar a la IAEA y autoridades de países vecinos.
2. Alerta: utiliza sirenas cuando un accidente involucra en cierta medida la posibilidad de que material radiactivo sea liberado al medioambiente. Aquí hay un aseguramiento de que la población esté al tanto con el objeto de tomar las medidas correspondientes.
3. Alertas Posteriores: son utilizadas en caso de ser necesario con el fin de que las personas tomen medicamentos adecuados, se queden en sus casas o vayan a refugios.

Ahora bien, todo lo anterior requiere de ejercicios de emergencia, los cuales son realizados en forma periódica una vez al año.[4]

A.7.3.6 Manejo de Residuos Nucleares

En Suiza, cada una de las centrales nucleares debe hacerse responsable por el acondicionamiento y el almacenamiento de los residuos radiactivos generados en su operación. Beznau, por ejemplo, cuenta con un espacio acondicionado para almacenar

[4] Información específica sobre medidas de seguridad, zonas planificadas para seguridad, etc., en el Quinto Reporte de Suiza frente a la Convención de la Seguridad Nuclear, año 2007.

en seco los elementos combustibles gastados. En cuanto a Gösgen, cuenta con un edificio para almacenamiento en agua de los elementos combustibles.

Por lo tanto, las centrales nucleares deben disponer sus desechos nucleares, por ley, bajo barreras geográficas. Sin embargo, actualmente no existen repositorios geográficos construidos o habilitados (si bien hubo una intención en el año 1997, que no llegó a concretarse), por lo que en cada planta nuclear hay almacenamiento de residuos. Cada planta tiene las instalaciones necesarias para absorber sus residuos.

Desde el año 2001, el Paul Scherrer Institute (PSI) en Würenlingen, comenzó a aceptar desechos de mediano y alto nivel. PSI es el agente gubernamental encargado de recolectar todos los desechos radiactivos que no son de origen nuclear (medicina, industria e investigación). ZWILAG es una empresa de servicios públicos que administra esta función y es la responsable de almacenar el combustible agotado, HLW y otros residuos. También re acondiciona residuos de corrientes de baja y baja-media intensidad (L/ILW waste streams) e incinera desechos LLW.

Sin embargo, se concluye que en Suiza son las mismas centrales nucleares las que se encuentran encargadas de manejar sus residuos. Ahora bien, existen estudios en marcha para encontrar un lugar centralizado en este país para contener el material radiactivo. También hay investigaciones y evaluaciones sobre cuál solución en el manejo de residuos será más factible en Suiza.

A.7.3.7 Decomisionamiento de centrales nucleares

Actualmente las cinco centrales nucleares se encuentran en operación y sólo se espera que para el año 2020 dos de ellas dejen de estar activas. Dado el alto costo que implica el adecuado desmantelamiento de las dependencias nucleares (estimado en 1,5 billones de francos suizos), se estableció en 1984 un Fondo de Decomisionamiento, el cual está desligado de los operadores de las plantas nucleares, pero donde sus dueños deben pagar contribuciones anuales (referirse a Marco Legal de Suiza en Energía Nuclear arriba).

A.7.3.8 Compromisos Nacionales e Internacionales

Suiza ha establecido conversaciones con autoridades francesas y alemanas en el campo nuclear. Dentro de este marco, las autoridades reguladoras de Francia y Suiza han comenzado inspecciones mutuas a las instalaciones nucleares.

Suiza está representado frente la OECD/NEA por la HSK. Al mismo tiempo, se vincula con el comité de regulación de actividad nuclear, de seguridad de instalaciones nucleares, protección radiológica y salud pública, y de manejo de residuos nucleares. Al mismo tiempo, la HSK es parte de la toma de decisiones y en equipos de la IAEA (en estándares de seguridad, transporte, manejo de residuos). También participa activamente en WENRA (Western European Nuclear Regulators` Association), NRWG (Nuclear Regulatory Working Group of the European Commission) y la NERS (Network of Regulators of Countries with small Nuclear Programs).

Por parte del gobierno, Suiza ha firmado una serie de tratados bilaterales, multilaterales e internacionales. A continuación se adjunta la lista de éstos:

Tabla A.7.7 Tratados internacionales

INTERNATIONAL, MULTILATERAL AND BILATERAL AGREEMENTS		
AGREEMENTS WITH THE IAEA		
• Membership of the International Atomic Energy Agency	Member	5 April 1957
• Amendments of Article VI & XIV.A of the IAEA Statute	Ratified	24 August 2000
• NPT related agreement INFCIRC/264	Entry into force:	6 September 1978
• Additional protocol	Signature	16 June 2000
• Improved procedures for designation of safeguards inspectors	Accepted on:	16 January 1989
• Supplementary agreement on provision of technical assistance by the IAEA	Not applicable	
• Agreement on privileges and immunities	Entry into force:	16 September 1969

Otros tratados relevantes:

• NPT	Entry into force:	9 March 1977
• EURATOM		Non-member
• Convention on the physical protection of nuclear material (INFCIRC/274)	Entry into force:	8 February 1987
• Convention on early notification of a nuclear accident	Entry into force:	1 July 1988
• Convention on assistance in the case of a nuclear accident or radiological emergency	Entry into force:	1 July 1988
• Conventions on civil liability for nuclear damage	Non-party	
• Joint protocol	Signature:	21 September 1988
• Protocol to amend the Vienna convention on civil liability for nuclear damage	Not signed	
• Convention on supplementary compensation for nuclear damage	Not signed	

• Convention on nuclear safety	Entry into Force:	11 December 1996
• Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management	Entry into Force:	18 June 2001
• ZANGGER Committee	Member	
• Nuclear Export Guidelines	Adopted	
• Acceptance of NUSS Codes	Summary: Codes are appropriate safety principles and a basis for national requirements. National practice meets requirements though are some deviations.	
• Nuclear Suppliers Group		Member

• Co-operation between the Government of Switzerland and the Government of Australia concerning peaceful uses of nuclear energy	1988
• Co-operation between the Government of Switzerland and the Government of Canada concerning peaceful uses of nuclear energy	1989
• Co-operation between the Government of Switzerland and the Government of China concerning peaceful uses of nuclear energy	1988
• Co-operation between the Government of Switzerland and the Government of France concerning peaceful uses of nuclear energy	1990
• Co-operation between the Government of Switzerland and the Government of Russia concerning peaceful uses of nuclear energy	1990
• Co-operation between the Government of Switzerland and the Government of Sweden concerning peaceful uses of nuclear energy	1968
• Co-operation between the Government of Switzerland and the Government of the United States of America concerning peaceful uses of nuclear energy	1966
• Agreement between the Government of Switzerland and the Government of France on information exchange in case of incidents or accidents with possible radiological consequences	1989
• Agreement between the Government of Switzerland and the Government of Germany on mutual information in case of construction and operation of nuclear facilities near the border	1983
• Agreement between the Government of Switzerland and the Government of Italy on quick information exchange in case of nuclear accidents	1989
• Agreement between the Government of Switzerland and the Government of Germany in the field of nuclear liability	1987
• Convention between the Government of Switzerland and the Government of Germany on the radioprotection in case of an alert	1978
• Exchange of letters between the Government of Switzerland and the Government of France for the creation of a mixed commission on nuclear safety	1989

Tabla A.7.8: Otros tratados internacionales

En conclusión Suiza es un país que no se encuentra marginado del mercado nuclear y participa activamente en él. Es más, en el año 2007, el HSK presentó un informe (el cuarto, acorde al artículo 5) donde reporta la implementación de requisitos impuestos por la Convención de Seguridad Nuclear (CNS).

A.7.4 Rol del Gobierno en la energía nuclear

El gobierno suizo tiene un rol fundamental en la promulgación del uso de la energía nuclear. Sin embargo, dado el fuerte poder del electorado (quienes pueden someter a votación cualquier norma), este rol puede ser disminuido. De hecho, el electorado aprobó un referéndum en el año 1990 para una moratoria en cuanto a la construcción de centrales nucleares y avances en la materia; en el año 2002, los votantes aprobaron reactivar esta actividad. La causa se basa en el respaldo que el Gobierno suizo ha dado para construir nuevas centrales nucleares, el cual se justifica en que aquellas centrales nucleares que comenzaron su funcionamiento hace más de 20 o 30 años, esperan cerrarse para el año 2020. Esto implicará que se generará un déficit energético en caso de no tomarse las medidas preventivas.

Si bien el gobierno suizo ha expresado su conformidad con la generación “verde” de energía, las centrales nucleares son apoyadas dado los beneficios y la congruencia en torno a sus compromisos sobre la emisión de CO2. Es más, se puede destacar la participación activa del gobierno en cuanto a la legislación que enmarca la energía nuclear. Cabe destacar además que su principal preocupación en torno a las plantas nucleares está enfocada en la seguridad de las mismas. Al mismo tiempo, y considerando sus compromisos con el tratado de Kioto, la energía nuclear ha sido su aliado fundamental, ya que Suiza tiene los niveles más bajos de emisiones de CO2 en Europa del Este.

Por lo tanto, a nivel gubernamental Suiza posee un sistema coherente y sólido, pero que cuenta con el poder de la ciudadanía para regular o impedir sus planos en materia

de diversificación de la matriz eléctrica (es importante considerar que también se apoyaba ampliamente el uso de energías renovables).

Ahora bien, quedan pendientes las legislaciones en materia de manejo de residuos nucleares y de la creación de un lugar de repositorio geográfico (bajo tierra) para el material de mediano y alto nivel radiactivo. De hecho, actualmente el gobierno tiene bajo estudio algunos sitios para ello, pero todos se encuentran en proceso de investigación. En conclusión, la legislación dejó bajo estricta responsabilidad de los operadores de las centrales nucleares administrar el material nuclear de desecho.

En materia de investigación y desarrollo, existen dos áreas principales en Suiza: la fisión y la fusión. La mayor parte de los fondos en el área de fisión están dirigidos en mejorar la seguridad existente en las plantas nucleares. Sólo una pequeña porción del remanente se entrega para estudios de fusión.

El gobierno también aporta una porción relativamente menor en la investigación y desarrollo sobre el manejo de residuos nucleares. Esta área se financia principalmente con fondos del NAGRA. La mayor cantidad de investigación y desarrollo en cuanto a la fisión es llevada a cabo en el PSI. Al mismo tiempo, Suiza participa en la investigación internacional de fusión (EURATOM), permitiendo usar sus dependencias para investigar y experimentar.

El financiamiento del I+D con fondos públicos ha disminuido constante y significativamente: casi un 30% menos entre los años 1992 y 2000. En cuanto al sector privado, éste también aporta fondos a esta rama. Sin embargo en el año 2001, sólo el 10% (CHF 51 millones) del total de los fondos públicos y privados fue utilizado en I+D de la energía nuclear. De este modo, Suiza recalca favorablemente la importancia de la colaboración internacional.

A.7.5 Rol de la industria privada en la energía nuclear

Beznau y Liebstadt son parte del grupo Axpo que pertenece a los cantones del noroeste de Suiza. Otro consorcio público, ATEL es dueño del 40% de Gösgen y de un 27% de Liebstadt.

A.7.6 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear

Suiza ha demostrado una alta competitividad en su manejo de energía nucleoeléctrica. Un estudio del Centro Universitario de Estudios de Problemas Energéticos de la Universidad de Geneva, destaca seis factores que han influido en la competencia de las plantas nucleares en este país:

- Marco regulatorio estable y procesos de licencias: El tiempo que transcurre entre una "autorización general" y la activación de una planta de energía nuclear es estimado entre 16 a 18 años (para el gobierno). Este periodo se reduce entre 12 a 15 años para el sector privado. Es decir, no existe una disonancia significativa entre las perspectivas estatales y privadas, considerando que la oposición siempre intentará aumentar los obstáculos para proyectos de plantas nucleares.
- Administración eficiente durante la construcción y operación: Suiza ha sabido manejar eficazmente este punto que sin duda alguna es reconocido como uno de los más vulnerables por la industria.
- Condiciones apropiadas para el financiamiento: El financiamiento de grandes plantas de energía nuclear está apoyado en el modelo suizo de "partner companies". Es decir, a medida que cada "partner" absorbe la producción y cubre la generación de costos, en proporción al porcentaje invertido, el riesgo es asumido en porciones iguales. Es importante destacar por lo tanto, la solidez económica de compañías como ATEL y Axpo, como también las garantías proveídas indirectamente por compañías públicas.
- Estabilidad en precios de venta: ATEL y Axpo han manejado contratos a largo plazo con el objeto de disminuir las variaciones dada la volatilidad en el mercado donde se transa la electricidad. En este caso, los contratos son adoptados entre los generadores y los suministradores eléctricos.
- Políticas medioambientales: Las emisiones de carbono (bonos de CO2) tienen un precio significativo en la industria, por lo que entrega una ventaja relevante a las plantas nucleares frente a otras alternativas.
- Alternativas en producción eléctrica, CCGT (Combined Cycles Gas Turbines): Si bien esta tecnología tiene por ventaja contar con un período de pago corto y

flexible. Sin embargo, los costos del combustible, como el gas, al estar ligados al petróleo, son su mayor desventaja.

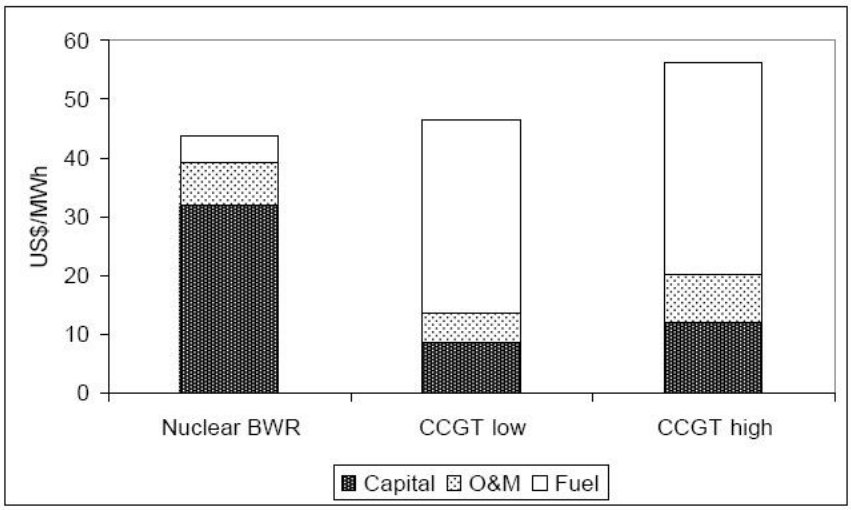
Por lo tanto, las compañías eléctricas están dispuestas a invertir por dos razones principales: hacer negocios y diversificar su portafolio de inversiones (sin descuidar la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes, y cumplir con las regulaciones y seguridad). Al mismo tiempo, las compañías eléctricas tienen una estrategia de inversión de mediano y largo plazo, y por lo mismo tienden a preferir inversiones con períodos de pago más extensos. El cuadro a continuación representa explícitamente las inversiones estimadas por el sector eléctrico para el período 2008-2035 en Suiza, en las distintas alternativas.

Tabla A.7.9: Inversiones proyectadas por el sector eléctrico período 2008-2035 en Suiza.
(Fuente: University Centre for the Study of Energy Problems, Un. Geneva,2007)

	TWh	1000 MCHF
Nuclear	20	10-12
CCGTs	3	2
Renewable	5	8-10
Hydro pumps	(super-peak)	3
Networks	(to avoid bottlenecks)	2-3
Total	28	25-30

Las compañías suizas, que representan el 95% en la generación eléctrica del país, obtuvieron ganancias netas de MCHF 1655 en el 2005.

A continuación se presenta los costos proyectados en la generación de energía eléctrica en Suiza.

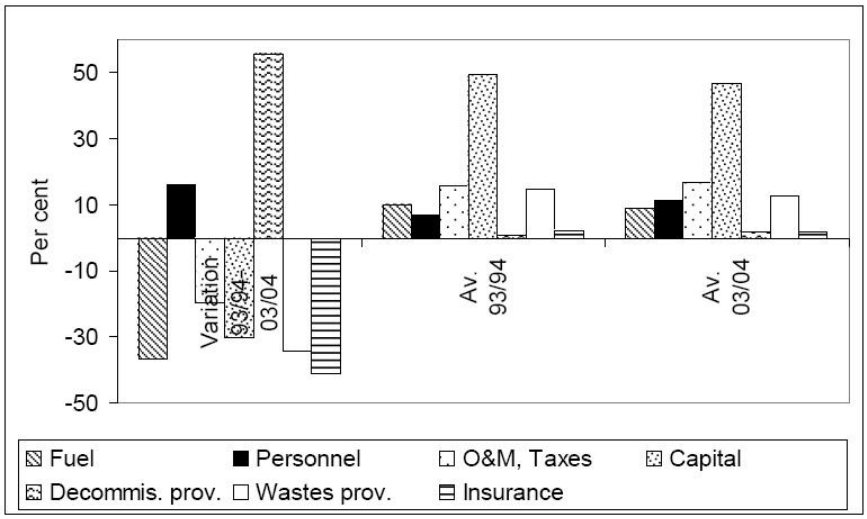


(*) Decommissioning, waste disposal, insurance included; taxes and duties not included; discount rate 10%; gas price rate of growth: 1.9%/yr; capacity: NPP 1600 MWe; CCGT 100 MWe (high cost) and 400 MWe (low cost).
Source: NEA/IEA, 2005.

Figura A.7.6: Costos Proyectados para la Generación Eléctrica en Suiza (*)

A modo de ejemplo, en la Figura A.7.7 se presenta el desglose de los costos de la central nuclear de Leibstadt en dos períodos: 1993 a 1994 y 2003 y 2004. Los costos representados corresponden al combustible, personal, impuestos, capital, decomisionamiento, manejo de desechos y seguros.

Figura A.7.7: Leibsttadt NPP generating costos. Fuente: Leibstadt Geschäftsberichte



Tal como se puede apreciar, el mayor costo de una central nuclear es el uso intensivo de capital, el cual alcanza casi un 50%. Cabe destacar que los costos en personal aumentan en diez años alcanzando alrededor de un 10% (con una variación cercana al 15%). El segundo ítem con mayor variación es los gastos de decomisionamiento, los cuales aumentaron sobre el 50% al período inicial.

A.7.7 Requerimientos de Recursos Humanos

Todos los costos para cubrir las agencias de seguridad nuclear en Suiza, se cubren a través de impuestos de los titulares de las licencias de las centrales nucleares. En conjunto, se estima que cerca de CHF 30 millones son gastados al año en esta materia. El presupuesto en materia de investigación de seguridad nuclear alcanza los CHF 4,2 millones los cuales se pagan a través de un fondo público. Al mismo tiempo, se deben añadir CHF 1,7 millones los cuales provienen por un lado de los operadores de las centrales nucleares y por otro del Paul Scherrer Institute (PSI).

A.7.7.1 Supervisión

En materia de autoridades de supervisión, el HSK cuenta con alrededor de 70 especialistas, los que se distribuyen según su labor: 29 para seguridad de los reactores; 24 en protección radiológica y preparación de emergencias; 10 en manejo de residuos y seguridad en el transporte; 10 en inspección y asuntos internacionales. Por

su parte, 20 personas trabajan en el área administrativa y de infraestructura. La sección SK de la Oficina Federal de Energía cuenta actualmente con 6 personas.

En temas específicos de las centrales nucleares, se contratan consultores independientes. Al mismo tiempo, toda el área de vigilancia de manufactura, reparación, reposición, modificación y servicios relativos a componentes de presión, se encuentran contratados externamente a SVTI (Swiss Association for Technical Inspections), entidad privada. Por último para cubrir aspectos técnicos altamente específicos, se han contrato 16 especialistas en la materia, de forma anual.

A.7.7.2 Advisory Commitee

La Comisión Federal de Seguridad Nuclear (KSA) en Suiza esta compuesta por 13 miembros, los cuales deben tener un alto grado de conocimiento en el área (más bien casi completo) respecto a lo que consiste la seguridad en los reactores, protección radiológica, preparación en caso de emergencias, manejo de residuos y transporte seguro.

A.7.7.3 Centrales Nucleares

En este punto son los mismos operadores los responsables de contratar al personal idóneo. Ahora bien, el HSK impone una estructura básica mínima requerida en las plantas, con el objeto de asegurar la seguridad en al menos las siguientes áreas: operación; mantención, prueba de materiales y métodos, soporte técnico; diseño y monitoreo del edificio del reactor; protección radiológica y manejo de residuos; química del agua y uso de químicos auxiliares; planificación en caso de emergencia y medidas preventivas; seguridad; control de calidad en servicios proveídos por contratistas; entrenamiento y educación posterior del personal; y finalmente, promover las medidas de seguridad existentes.

En sí, no existe un número mínimo de personas requeridas legalmente. La data confirma que en la central nuclear de Mühlemberg cuenta con un staff de 305 personas. Beznau I y II cuentan con 497. Gösgen por su parte cuenta con 394 y Leibstadt con 413 personas.

Un punto en común de las centrales nucleares es que existen especificaciones claras del nivel de educación y entrenamiento que deben tener los empleados de una planta nuclear. En términos generales los trabajadores de una central nuclear se dividen en cinco grandes grupos: Operadores de Campo (Field Operators); Operador de sala de control (Control room operator); Supervisores de turno (Shift Supervisors); Ingenieros expertos en seguridad (Stand-by safety engineers); y Expertos en Protección Radiológica (Radiation protection Experts).

Es importante destacar que para cada una de las funciones nombradas el personal debe estar en constante entrenamiento. El HSK se involucra en estos procesos corroborando la capacitación de los trabajadores. Por su parte, el PSI ofrece cursos específicos de educación y entrenamiento. Ahora bien, estos costos deben ser absorbidos por los operadores de las centrales nucleares.

A.7.8 Actitudes hacia la energía nuclear

A.7.8.1 Gobierno y ciudadanía

En Suiza las decisiones políticas se encuentran dominadas por referéndum. Es decir, si existe algún tema de confrontación público, el electorado tiene la facultad (bajo ciertas condiciones) de llamar a elecciones a modo de aprobar o rechazar alguna medida.

En este sentido, la ciudadanía aprobó tres veces consecutivas políticas nucleares, entre los años 1979 y 1984. Sin embargo, en 1990 el electorado aprobó una moratoria (54,6% de votación) de 10 años para la construcción o la ejecución de cualquier proyecto vinculado a energía nuclear. De hecho en 1998 el gobierno suizo consideró eliminar la energía nuclear de su matriz energética. Sin embargo, en el año 2000, se promulgó una ley que se comprometía en disminuir las emisiones de CO2 al medioambiente (a la mitad para el año 2010), lo cual dio un nuevo impulso a la energía nucleoeléctrica.

Dado estos antecedentes, y los favorables beneficios (específicamente en la disminución en la emisión de gases), en el 2003, la ciudadanía rechazó dos propuestas

anti-nucleares – que proponían suspender la energía nuclear hasta el 2014 – a través de una encuesta (llevada a cabo por ATEL) y dio pie a considerar la construcción de dos nuevas centrales para el 2020. Más aún, en el 2006, VSE (compañía pública de electricidad), presentó un estudio donde se pronosticó una caída en su capacidad eléctrica en 1100 MWe dado que para el año 2020 se cerrarían las centrales más antiguas. De hecho, dado el aumento en el consumo eléctrico y al próximo cierre de las centrales nucleares más antiguas, para el 2035 se estima un recorte entre 25 a 30 billones de kWh, cerca de un 50% de la generación anual actual), o bien 20 TWh anual (25%) al año 2020.

Otro punto que llevó a que el gobierno impulsara esta medida es que este país utiliza una mezcla de carbón (low-carbon) basado en petróleo con energía nuclear (60 y 40%), por lo que la dependencia en los precios del petróleo y el aumento de la combustión de carbón no le permitirá controlar sus costos y cumplir con sus compromisos del tratado de Kioto, respectivamente, en el corto plazo.

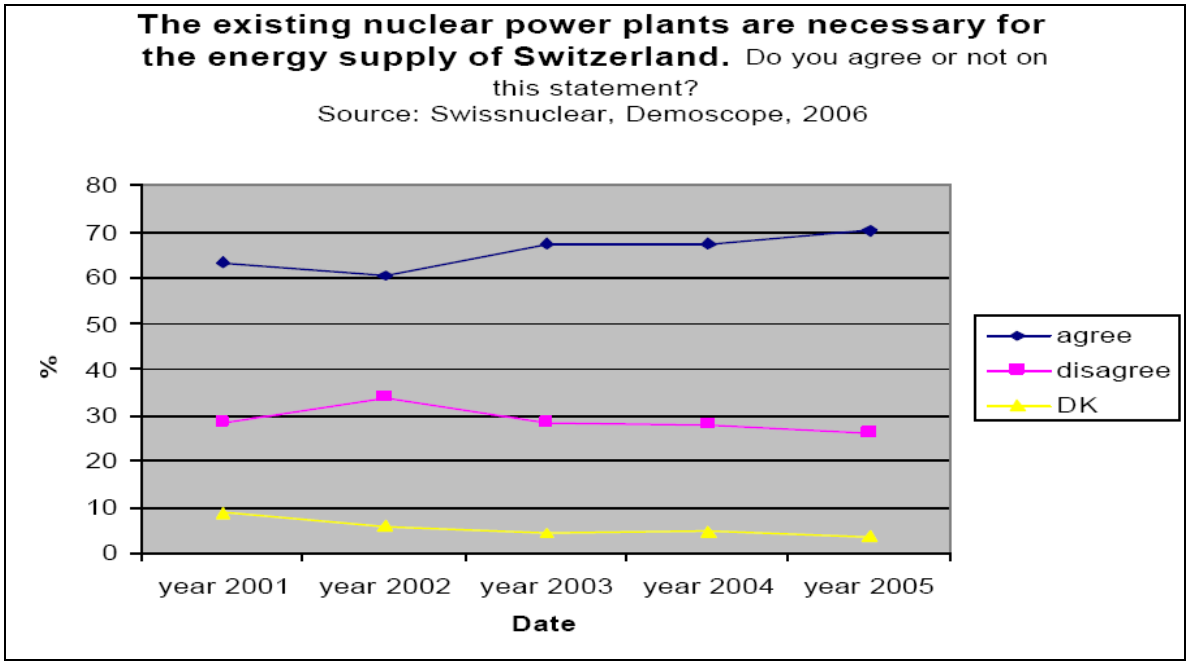
A.7.8.2 Opinión Pública y Oposición

Tal como se puede deducir, en Suiza la actitud hacia la energía nuclear ha sido cambiante a lo largo del tiempo. De hecho, hay que distinguir que el correcto traspaso de la información a la ciudadanía sobre los beneficios y sobre las necesidades del país, han sido un factor determinante a la hora de aprobar o, al menos, considerar la energía nucleoeléctrica como fuente de electricidad.

El siguiente gráfico es un indicador clave para comprender el nivel de aceptación de las centrales nucleares en Suiza.

Figura A.7.7 Encuesta sobre aceptación de la energía nuclear en Suiza.

Fuente: Demoscope, 2006



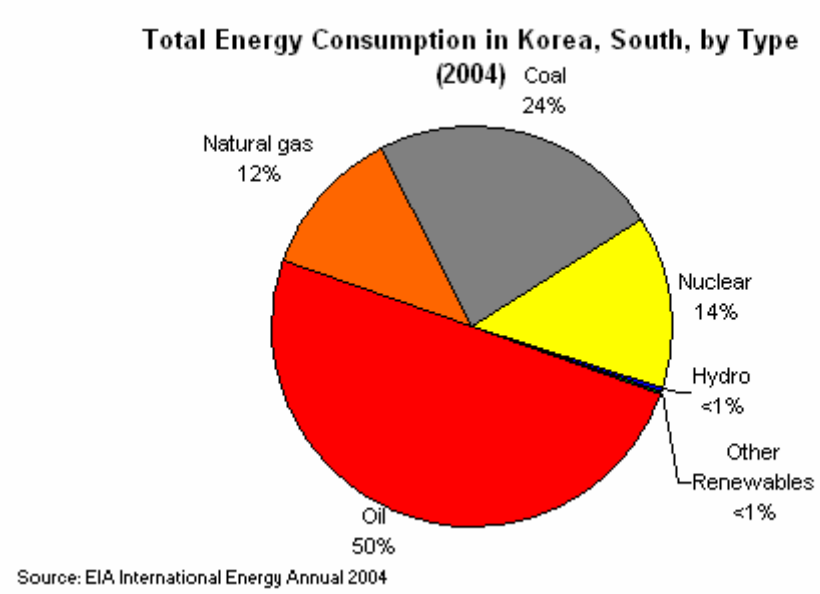
Tal como se puede observar, la tendencia ha sido creciente en aquellos que consideran que las plantas nucleares son una opción necesaria para el suministro de energía en Suiza, llegando a ser un 70%. Al mismo tiempo, hay una disminución de aquellos que no opinan respecto al tema, como también de aquellos que la rechazaban. Es decir, existe un traspaso desde la población indiferente u opuesta, hacia la que aprueban la energía nuclear. Por último, es importante destacar que en el año 2003 ocurre el mayor cambio, observándose con mayor fuerza las tendencias antes descritas.

A.8 Corea del Sur

A.8.1 Contribución de la Energía Nuclear en la Matriz Energética

Corea del Sur es casi completamente dependiente de la importación de energía para cubrir su consumo energético. Respecto a su capacidad instalada, en 2004, Corea del Sur tenía 58,8 GW de capacidad de generación instalada. De los 343 mil millones de kWh de electricidad generada en 2004, 36% proviene de la energía nuclear, 63% proviene de fuentes térmicas convencionales y el resto de fuentes hídricas.

Figura A.8.1 Producción de energía en Corea del Sur por tipo en 2004



Fuente: Energy Information Administration 2007. Country Analysis Briefs: South Korea.

La demanda de energía en Corea del Sur ha aumentado en más de un 9% por año desde 1990, pero se espera que baje a 2,8% anual en el período comprendido entre 2006-10 y a 2,5% anual en adelante hasta 2020. Se espera que la capacidad de generación crezca a 88GWe para el 2017; 30% está proyectado a ser en energía nuclear. Para el 2020 una capacidad nuclear de 27,3 GWe se espera que suministre

226 mil millones de kWh. Para el 2035 el gobierno espera que la energía nuclear suministre el 60% de la energía (WNA 2008d).

Las políticas energéticas surcoreanas se han centrado en aumentar la seguridad y reducir las importaciones de energía. El desarrollo del plan completo de energía nuclear del Ministerio de Ciencia y Tecnología Surcoreano (MOST) para 2007-11 indicó que el objetivo de Corea del Sur es desarrollar su industria nuclear y posicionarla dentro de las 5 mejores del mundo. El informe también enfatizó la producción de combustible nuclear y la promoción de reactores nucleares desarrollados en Corea del Sur (el APR-1400 y el OPR-1000). Dentro del Plan Energético 2008 de Corea del Sur se prevén diez u once nuevos reactores, desde su publicación a 2030 (WNA 2008d).

La tabla A.8.1 entrega detalles acerca de los reactores nucleares de potencia actuales en Corea del Sur. Korea Hydro y Nuclear Power (KHNP) y MOST están negociando la renovación de licencias y la extención de vida operativa de algunos reactores existentes (WNA 2008d).

Tabla A.8.1 Reactores nucleares de potencia de Corea del Sur

Nombre	Propietario	Ubicación	Tipo	MW	Estado	Puesta en marcha	Año de cierre esperado
Kori 1	KHNP		PWR	570	Operando	1978	2017
Kori 2	KHNP		PWR	630	Operando	1983	
Wolsong 1	KHNP		PHWR	635	Operando	1983	
Kori 3	KHNP		PWR	950	Operando	1985	
Kori 4	KHNP		PWR	950	Operando	1986	
Yonggwang 1	KHNP		PWR	945	Operando	1986	
Yonggwang 2	KHNP		PWR	945	Operando	1987	
Ulchin 1	KHNP		PWR	950	Operando	1988	
Ulchin 2	KHNP		PWR	950	Operando	1989	
Yonggwang 3	KHNP		PWR	989	Operando	1995	
Yonggwang 4	KHNP		PWR	989	Operando	1996	
Wolsong 2	KHNP		PHWR	680	Operando	1997	
Wolsong 3	KHNP		PHWR	680	Operando	1998	
Wolsong 4	KHNP		PHWR	680	Operando	1999	
Ulchin 3	KHNP		PWR	995	Operando	1998	

Ulchin 4	KHNP		PWR	995	Operando	1999	
Yonggwang 5	KHNP		PWR	1000	Operando	2002	
Yonggwang 6	KHNP		PWR	1000	Operando	2002	
Ulchin 5	KHNP		PWR	1000	Operando	2004	
Ulchin 6	KHNP		PWR	1000	Operando	2005	

Fuente: WNA 2008d and NEA 2007c

La tabla A.8.2 resume la capacidad nuclear planeado por Corea del Sur. Los permisos para Shin Kori 1 y 2 y Shin Wolsong 1 y 2 fueron obtenidos en 2005. La preparación del sitio para Shin Kori 3 y 4 comenzaron en Noviembre de 2007 con fecha de término esperada en 2013 y 2014 respectivamente. Además, dos plantes están propuestas para empezar en 2030 (WNA 2008d).

Tabla A.8.2 Reactores nucleares de potencia propuestos y planificados en Corea del Sur

Nombre	Propietario	Ubicación	Tipo	MW	Comienzo de construcción esperada	Puesta en marcha esperada
Shin Kori 1			PWR (OPR-1000)	1000	Jun 2006	Dic 2010
Shin Kori 2			PWR (OPR-1000)	1000	Jun 2007	Dic 2011
Shin Wolsong 1			PWR (OPR-1000)	1000	Nov 2007	Mar 2012
Shin Wolsong 2			PWR (OPR-1000)	1000	Oct 2008	Ene 2013
Shin Kori 3			PWR (APR-1400)	1350	Nov 2008	Sep 2013
Shin Kori 4			PWR (APR-1400)	1350	Oct 2009	Sep 2014
Shin Ulchin 1			PWR (APR-1400)	1350	Mar 2011	Dic 2015
Shin Ulchin 2			PWR (APR-1400)	1350	Mar 2012	Dic 2016

Fuente: WNA 2008d

A.8.2 Marco Legal

Corea del Sur se hizo miembro de la IAEA en 1957 y entregó su propia *Acta de Energía Atómica* en 1958. En 1959, la Oficina de Energía Atómica fue establecida (WNA 2008d). Otra importante regulación en potencia nuclear incluye:

- Acta de Compensación Nuclear (establecida en 1969);
- Regulaciones en el Sistema de Licenciamiento de Instalaciones Nucleares (establecido en 1971); y
- Acta en Protección Física y Emergencia radiológica (establecida en 2004) (NEA 2007c).

De acuerdo con el Acta de Energía Atómica, los procedimientos de regulación y licenciamiento para plantas de potencia nuclear se dividieron en tres etapas:

- selección de sitio;
- construcción; y
- operación (NEA 2007c).

A.8.3 Marco Institucional y Regulador

La primera autoridad en la toma de decisiones en potencia nuclear es la Comisión de Energía Atómica, la que es presidida por el Primer Ministro. La regulación e investigación y desarrollo de la seguridad nuclear está bajo la responsabilidad de la Comisión de Seguridad Nuclear (NSC), que es presidida por el Ministro de Ciencia y Tecnología (MOST). La NSC, establecida en 1996, es independiente de la AEC (WNA 2008d).

Bajo el MOST, el Instituto Coreano de Seguridad Nuclear (KINS) es el regulador experto en seguridad (WNA 2008d).

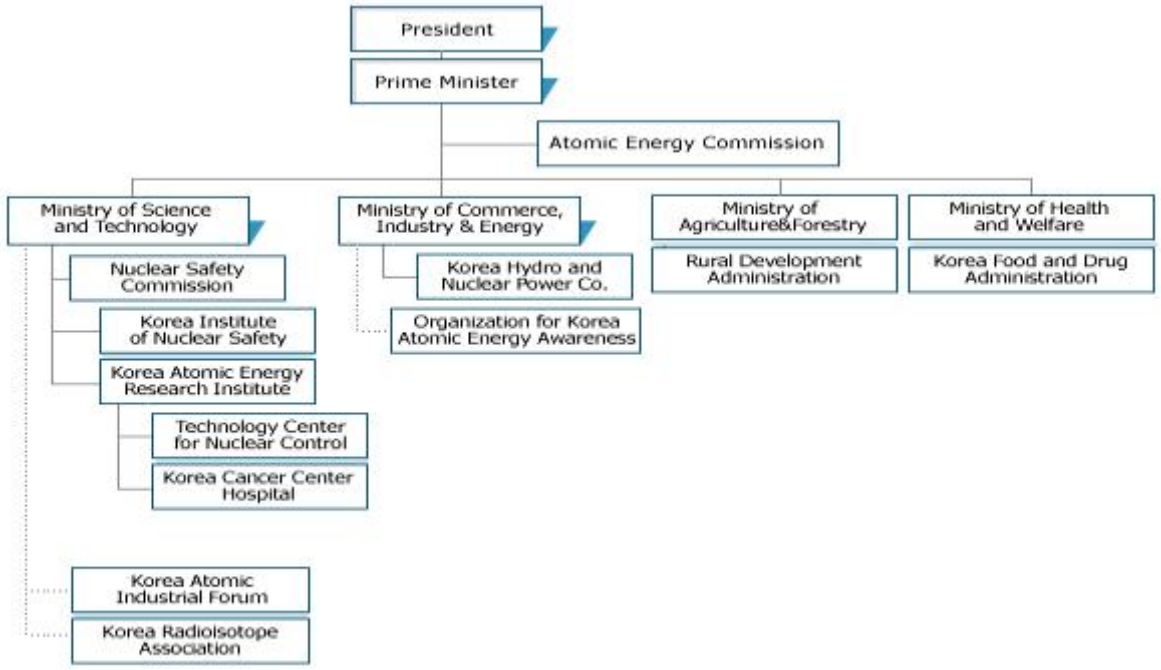
La contabilidad de material nuclear y el régimen internacional de medidas de seguridad caen bajo el auspicio de la Agencia Nacional de Gestión y Control Nuclear (NNCA) (WNA 2008d).

El Ministerio de Comercio, Industria y Energía (MOCIE) es responsable de: el desarrollo de políticas energéticas, la construcción y operación de plantas de potencia

nuclear, suministro de combustible nuclear y manejo de residuos radiactivos. El MOCIE también es responsable de Korea Hydro and Nuclear Power Company (KHNPC), la Compañía de Combustible Nuclear de Corea, el Instituto Tecnológico Nuclear Medioambiental (NETEC) y operaciones de ingeniería pesadas (WNA 2008d).

El marco regulador en Corea del Sur está ampliamente basado en el US NRC. La Figura A.8.2 ilustra la estructura organizacional de las instituciones reguladores en Corea del Sur.

Figura A.8.2 Principales organizaciones relacionadas a la energía nuclear en Corea del Sur



Fuente: NEA 2007c

A.8.4 Seguridad en el suministro de Combustible

A.8.4.1 Al interior del País

La demanda de Corea del Sur por el combustible nuclear ha crecido continuamente con la expansión del programa de potencia nuclear interno y se espera que represente el 5% de la demanda mundial de uranio (NEA 2007c).

El Instituto Coreano de Investigación Atómica (KAERI) ha desarrollado la tecnología para manufacturar el combustible para PWR y Candu PHWR. KAERI y la KNFC han suministrado el combustible para PWR desde 1990 y el combustible para Candu PHWR desde 1987. La capacidad de manufactura actual de la KNFC es de 550 t/año de combustible PWR y 700 t/año de combustible Candu PHWR (WNA 2008d).

A.8.4.2 Externo

Como el único consumidor de combustible nuclear, la KHNP trabaja para asegurar el suministro estable de los combustibles nucleares más económicos de las fuentes internacionales. La KHNP mantiene condiciones de contrato de concentrados de uranio óptimas combinando los contratos a largo plazo y las adquisiciones en el mercado spot (WNA 2008d). Las importaciones de concentrados de uranio, que totalizaron 3.100 toneladas en 2008 (WNA 2008d), provienen de Australia, Canadá, Reino Unido, Francia, Rusia, Estados Unidos y Sudáfrica (NEA 2007c). Además, la KNHP y otras agencias están involucradas en la exploración de uranio en Canadá.

Además de capacidad interna, existen contractos de largo plazo con EE.UU, Francia, Canadá y Rusia para la conversión y enriquecimiento de combustible. En 2007, la KHNP firmó un contrato a largo plazo (sobre 10 años) con Areva por servicios de enriquecimiento en Francia (WNA 2008d).

A.8.5 Rol del Gobierno en Energía Nuclear

A.8.5.1 Suministro de Combustible

El gobierno Surcoreano, principalmente a través de sus ministerios, agencias y compañías como la KHNP, coordinan y aseguran el suministro de combustible de un reactor nuclear.

A.8.5.2 Investigación y Desarrollo

El MOST desarrolla el Programa Nacional de Investigación y Desarrollo de Energía Atómica, el cual es implementado principalmente por KAERI, KCCH y KINS (NEA 2007c). El objetivo principal de I&D nuclear en Corea del Sur es de garantizar un

suministro nacional de energía seguro y construir la tecnología base para convertirse en un exportador de tecnología nuclear.

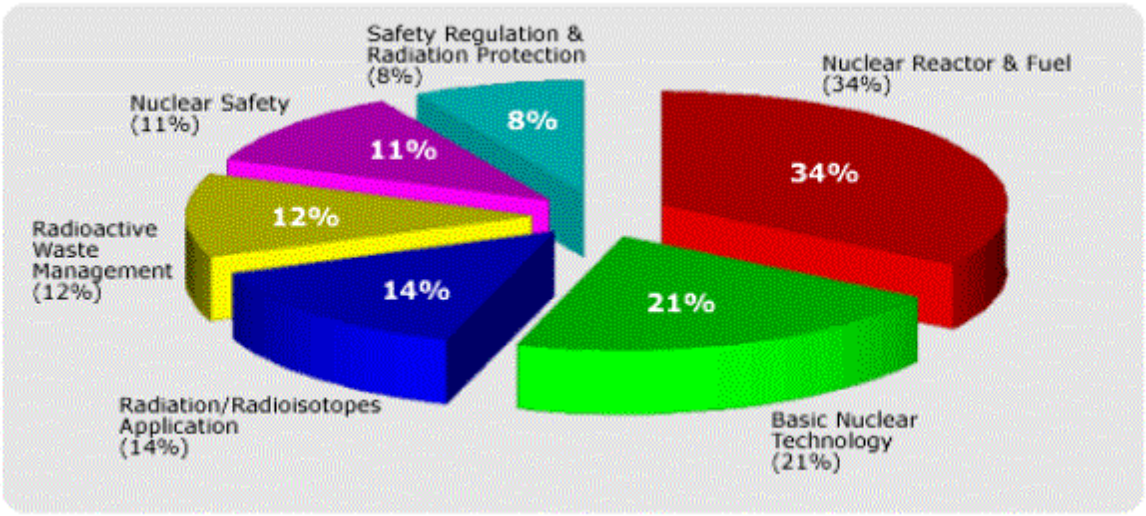
En la década de los 80 del siglo pasado, la industria nuclear Surcoreana comenzó un programa de transferencia tecnológica con Westinghouse para promover la el diseño y construcción de las plantas de potencia nuclear propio. En 2007 la KHNP entró en un acuerdo comercial cooperativo con Westinghouse y se espera que Corea del Sur alcance el éxito comercial internacional con sus diseños de reactores (WNA 2008d).

KAERI dirige la I&D en Corea del Sur (WNA 2008d). Los temas específicos en los que está enfocada la I&D incluyen:

- diseño de reactores;
- combustible nuclear;
- seguridad nuclear;
- manejo de residuos radiactivos;
- radiación y aplicaciones de radio isótopos; y
- investigación básica en tecnología como:
    - desarrollo de reactores de metal líquido;
    - uso del combustible agotado PWR en reactores Candu;
    - aplicación de lasers; y
    - investigación en la utilización del reactor.

La distribución de recursos para los temas de I&D en Corea del Sur en 2001 se muestra en la Figura A.8.3. La investigación en el uso del combustible agotado PWR en reactores Candu obtuvo el apoyo internacional de la IAEA, E.E.U.U. y Canadá (WNA 2008d).

Figura A.8.3 Distribución de recursos en I&D en Corea del Sur (2001)



Fuente: NEA 2007c

Algunos proyectos específicos de investigación actualmente en proceso en KAERI:

- el Reactor Avanzado de Sistema Integrado Modular (SMART) – Un PWR de 330 MW con potencial en aplicaciones térmicas como desalinización de agua de mar. Una planta de escala 1 a 5 (65MW) fue construido para operar en 2007;
- el Reactor Avanzado Korea de Metal Líquido (KALIMER) – un reactor rápido de enfriamiento por sodio de 600 MW;
- un reactor rápido de 150 MW;
- el Reactor de Muy Alta Temperatuta (VHTR) – un reactor de 300 MW designado a la producción aproximada de 30,000 toneladas de hidrógeno por año. Se espera que el diseño se complete en 2008, su construcción comience en 2016 y entre en operación en 2020. En este proyecto se ha trabajado cercanamente con el Instituto de Energía Nuclear y Nuevas Tecnologías en Energía (INET) en la Universidad Tsinghua de China y con su contraparte en Japón. Además, el South Korea-US Nuclear Hydrogen Joint Development Center involving General Atomics fue establecido en 2005;

El Centro de Investigación de Energía Nuclear de Transmutación de Corea (NuTrECK) de la Universidad de Seúl (SNU) también está trabajando en el desarrollo de reactores rápidos de 35, 300 y 550 MW que usarán plomo-bismuto como

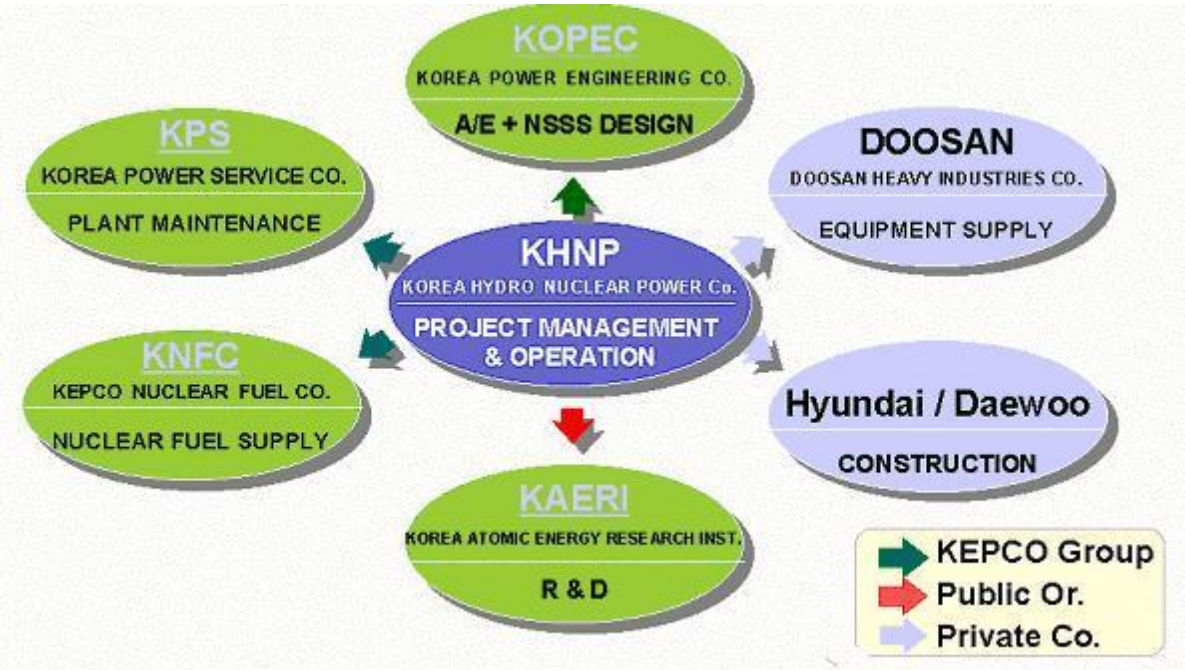
refrigerante y funcionarán utilizando combustible pyro-procesado. El reactor de 35 MW está diseñado para operar por 20 años antes de que el recambio de combustible sea necesario. El relleno de combustible puede ser realizado en la planta de pyro-procesamiento; el diseñador está diseñado para dos recambios de combustibles (WNA 2008d).

Corea del Sur es el mayor contribuyente en la investigación de la fusión. A fines de 1995, la Korea Superconducting Tokamak Advanced Research (KSTAR) fue lanzada y comenzó a operar en 2007 (WNA 2008d).

A.8.5.3 Propiedad

En 1989, 21% de las acciones de Korea Electric Power Company (KEPCO), previamente propiedad del gobierno, fueron vendidas al público. Luego de esta venta, KEPCO fue dividida en seis entidades de generación transmisión. KHNP es la más grande y abarca la totalidad de la capacidad de generación nuclear. Toda la transmisión y distribución de Corea del Sur sigue estando bajo KEPCO (WNA 2008d). La Figura 2.25 muestra un esquema de la estructura operativa de KHNP.

Figura A.8.4: Estructura de la industria de potencia nuclear en Corea del Sur



Fuente: NEA 2007c

A.8.5.4 Manejo de Desechos

La AEA ubica la responsabilidad del manejo de residuos radiactivos en KHNP. Basado en la cantidad de potencia generada, la KNHP paga una tarifa al MOST que se destina al Fondo de Manejo de Residuos Nucleares.

Mientras se espera la construcción de un depósito de almacenamiento provisional centralizado para el año 2016, el combustible agotado será almacenado en el sitio del reactor. Se espera que en el largo plazo se desarrollará un repositorio geológico de alta profundidad. El Instituto Medioambiental de Tecnología Nuclear se encarga de encontrar los sitios para el repositorio. Para promover la participación y el apoyo local, el *Acta para la Promoción del Proyecto del Manejo de Residuos Radiactivos y el Apoyo Financiero de la Comunidad Local* fue entregada en 2000. Para compensar a la comunidad elegida acerca del bajo nivel de radiactividad en el depósito de residuos,

Kyongju/Gyeonju, ubicada en la costa este a 370 km SE de Seúl, se le entregará aproximadamente US$300.000.000 (WNA 2008d).

A.8.6 Seguridad y Salvaguardias

Como un estado sin armas nucleares, Corea del Sur es miembro de la Nuclear NPT así como signatario del Additional Protocol (WNA 2008d).

En 1994, el MOST emitió “Nuclear Safety Policy Statement", que establece los principios de la seguridad nuclear:

- garantizar la seguridad es un prerequisito para el desarrollo y utilización de la potencia nuclear;
- los trabajadores nucleares deben adherir con que el principio de seguridad es una prioridad;
- en últimas instancias la responsabilidad de la seguridad nuclear recae sobre los operadores y no en las actividades y responsabilidades de los diseñadores, proveedores, constructores o reguladores; y
- que el gobierno debe tener la responsabilidad de la protección de la salud humana y del medioambiente para proteger a la población y al medioambiente de los peligros de radiación que podrían acompañar el desarrollo y la utilización de la energía nuclear (NEA 2007c)

Enmiendas a la AEA en 2000 apuntaban a fortalecer la seguridad nuclear en Corea del Sur, mediante:

- Promoviendo la participación de especialistas en la toma de decisiones en políticas mediante el aumento en el número de miembros de la NSC;
- Desarrollo de una Revisión de Seguridad Periódica para asegurar la operación segura de las plantas de potencia nuclear de Corea del Sur;
- Desarrollando un Certificado de Estándar de Diseño para definir las pautas de licenciamiento de las plantas de potencia nuclear con un mismo diseño; y
- Introducción de la Publicación 60 de la ICRP (NEA 2007c).

A.8.7 Recursos Humanos

Durante las tres últimas décadas, bajo el programa de autosuficiencia nacional de tecnología nuclear, Corea ha acumulado una extensa experiencia en el desarrollo y planificación del sector nuclear sector y en la construcción y operación de plantas de potencia nuclear. El desarrollo de recursos humanos fue una de las bases fundamentales en este programa de autosuficiencia, en donde la responsabilidad por el diseño, construcción y operación de plantas de potencia nuclear en Corea se ha traspasado a organizaciones nacionales, con solo apoyo limitado de tecnología de agencias extranjeras.

La Tabla A.8.3a indica un resumen los requisitos de recursos humanos en el sector nuclear:

Tabla A.8.3a Mano de Obra en la Industria nuclear por sector - 2005 a 2030

Sectors	2005	2010	2020	2030
Nuclear power sector	18,538	18,538	26,565	28,736
Nuclear radio-isotope utilizing sector	23,808	23,808	37,681	53,988
Academic sector	1,454	1,615	1,958	2,251
Total	43,800	43,961	66,204	84,975

Source: Byung-Joo, 2007

En el año 2004, el detalle del personal está indicado en la Tabla A.8.3 b.

Tabla A.8.3 b Recursos Humanos – Energía Nuclear en 2004

Category	**% of total nuclear personnel**
Design, A/E Consulting	15
C/E & Installation	10
Manufacturing of Equipment and Components	7
Plant O& M	28
RI Utilization	6
Nuclear Safety	14

R&D	7
Nuclear Services and Supports	13

Source: Byung-Joo, 2007 (Presentation slides)

Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd. (KHNP) ha construido y opera 20 unidades de potencia y tiene alrededor de 6.800 trabajadores y espera requerir 1.800 trabajadores adicionales para el año 2010.

A.8.8 Salud y Seguridad

La regulación de seguridad nuclear y la investigación y desarrollo están bajo la responsabilidad de la Comisión de Seguridad Nuclear (NSC) que es presidida por el Ministro de Ciencias y Tecnología (MOST). Bajo el MOST, el Instituto Coreano de Seguridad Nuclear (KINS) es el experto en la regulación de seguridad.

Al igual que otros países como Canadá y Francia, bajo los auspicios del OIEA, el aumento de seguridad en el mundo entero se obtiene con el desarrollo y la adopción de convenciones de seguridad, principalmente en las aéreas de seguridad nuclear, de radiación, transporte, y desechos que han sido todos ratificados por Corea del Sur

Korea Hydro and Nuclear Power Company es un miembro de WANO –la asociación mundial de operadores nucleares (ver la sección de Salud y Seguridad de Francia para mas detalles en los programas de WANO).

A.8.9 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear

En Corea del Sur, la producción de energía nuclear cuenta con un apoyo del 49% del público (GlobeScan 2005).

Byung-Joo, 2007. "Future Perspectives of Human Resources in Nuclear Technologies – the Korean Case". Korea Atomic Energy Research Institute. Paper presented in Vienna, 18-21 June 2007. IAEA-CN-153-4-K-03fp[1].

GlobeScan Incorporated, 2005. "Global Public Opinion on Nuclear Issues and the IAEA Final Report from 18 Countries." Prepared for the International Atomic Energy Agency.

A.9 España

A.9.1 Contribución de la Energía Nuclear a la matriz energética de España

Estructura del Sistema Eléctrico

España cuenta con pocas fuentes de energía propias. De hecho su principal fuente es el carbón y la hidroeléctrica. Al mismo tiempo, es posible destacar que España cuenta con el quinto mercado energético más grande de la Unión Europea (UE).

La principal fuente de energía eléctrica – producción – la entrega la energía térmica (cerca de la mitad), seguida por las centrales hidroeléctricas. Por su parte, la energía nuclear representa un 17% de la producción eléctrica en para el año 2007. Si bien han existido intenciones de aumentar la capacidad de nueve de sus centrales nucleares, en el año 2004 el Partido Socialista anunció que en caso de ser electo, comenzar un programa de cierre de estas instalaciones. Dado que este partido gobierna actualmente España, la estructura del sistema nucleo-eléctrico no ve futuro apoyo para seguir funcionando, siendo más crítico aún que el Gobierno no permita renovar licencias a las centrales existentes. La figura a continuación permite representar el mix eléctrico de España al año 2005.

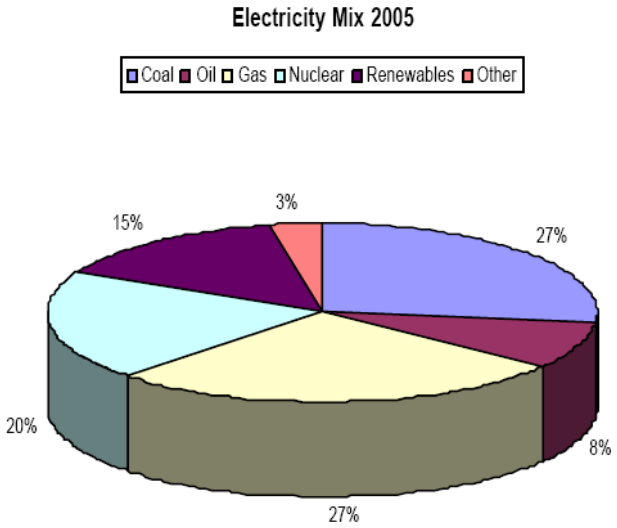


Figura A.9.1: Mix Eléctrico España 2005
Fuente: FORATOM, Country Profile.

Dada la estructura del sistema eléctrico, España cuenta con los peores niveles de emisión de dióxido de carbono de los países miembros de la UE. De hecho, es crítico constatar que no ha logrado cumplir con los requerimientos del Tratado de Kioto.

La Figura A.9.2 presenta la demanda de energía en España al año 2005.

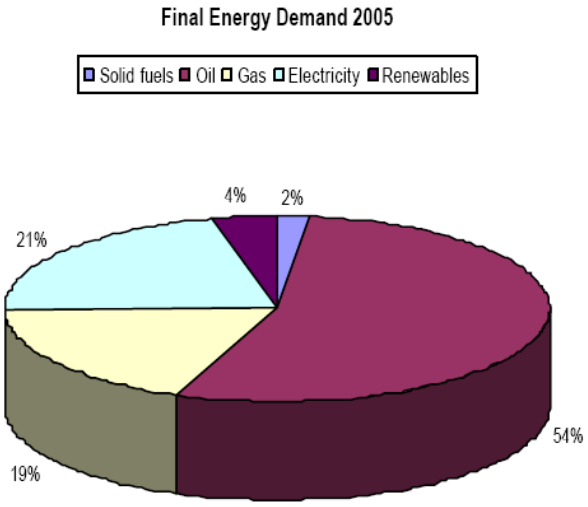


Figura A.9.2: Demanda Energética España (2005)
Fuente: Foratom, Country Profile

La tabla obtenida de la IAEA muestra estadísticas relativas al consumo eléctrico según sea su fuente, su producción y las importaciones netas al año 2002.

							Average annual growth rate (%)	
	1970	1980	1990	2000	2001	2002	1970 To 1990	1990 To 2002
Energy consumption								
- Total (1)	1.73	3.03	3.72	5.40	5.46	5.63	3.89	3.51
- Solids (2)	0.47	0.56	0.85	1.20	1.18	1.18	3.09	2.74
- Liquids	1.00	2.07	1.88	2.57	2.57	2.65	3.21	2.90
- Gases		0.08	0.23	0.72	0.75	0.84	23.61	11.34
- Primary electricity (3)	0.26	0.32	0.75	0.92	0.95	0.95	5.39	2.03
Energy production								
- Total	0.65	0.85	1.40	1.54	1.58	1.60	3.90	1.12
- Solids	0.37	0.45	0.54	0.57	0.60	0.62	1.94	1.20
- Liquids	0.01	0.07	0.05	0.02	0.02	0.02	10.79	-6.20
- Gases			0.06	0.02	0.02	0.02	20.03	-10.47
- Primary electricity (3)	0.28	0.33	0.75	0.92	0.94	0.94	5.13	1.87
Net import (Import - Export)								
- Total	1.22	2.33	2.54	4.29	4.66	5.05	3.76	5.89
- Solids	0.08	0.17	0.29	0.62	0.73	0.90	7.06	9.77
- Liquids	1.14	2.09	2.08	2.95	3.09	3.21	3.05	3.68
- Gases	0.00	0.08	0.17	0.72	0.85	0.95	22.70	15.30

(1) Energy consumption = Primary energy consumption + Net import (Import - Export) of secondary energy.

(2) Solid fuels include coal, lignite and commercial wood.

(3) Primary electricity = Hydro + Geothermal + Nuclear + Wind.

(*) Energy values are in Exajoule except where indicated.

Source: IAEA Energy and Economic Database.

Tabla A.9.1: Estadísticas Energía en España
Fuente: IAEA, Country Profile 2003

Tal como se puede apreciar, la energía nuclear, en conjunto con las otras fuentes energéticas mostró un crecimiento sostenido entre 1970 y 1990 (tasa 5,39% anual). Sin embargo, entre 1990 y el 2002, existe un descenso en el consumo de estas energías lo cual puede estar ligado al decrecimiento de su producción propiamente tal. En números totales, España muestra un aumento en el consumo de energía de 3,51% anual para el período de 1990 y el 2002. Ahora bien, queda de manifiesto que España ha aumentado su dependencia a la importación, siendo en total un 5,89% anual. La Figura a continuación representa esta situación, actualizada por FORATOM para el año 2005. Tal como se puede observar, la dependencia de España a importar energía ha crecido a un 81,2%, superando considerablemente el cerca del 60% que se tenía en 1990.

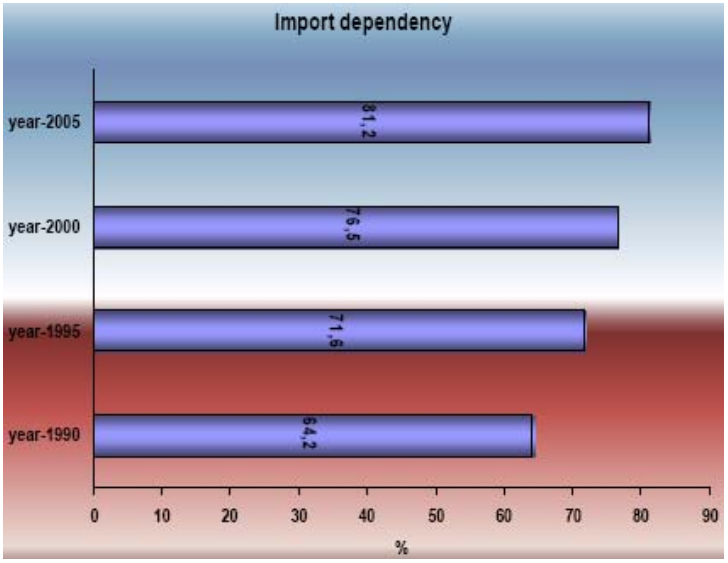


Figura A.9.3: Dependencia Importaciones España 1990-2005
Fuente: FORATOM, Country Profile

Como complemento, el siguiente gráfico desglosa las importaciones netas de España.

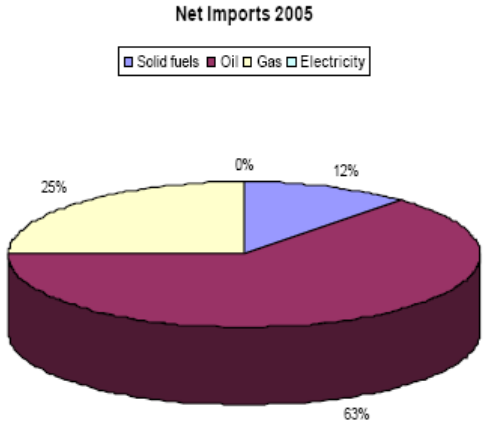


Figura A.9.4: Composición de Importaciones Netas de Energía España
Fuente: FORATOM, Country Profile

Como complemento importante, las siguientes tablas muestran la producción eléctrica en España, sus fuentes, y su capacidad instalada según corresponda.

	1970	1980	1990	2000	2001	2002	Average annual growth rate (%) 1970 To 1990	Average annual growth rate (%) 1990 To 2002
Electricity production (TW.h)								
- Total (1)	56.31	109.20	151.76	221.82	229.43	234.26	5.08	3.68
- Thermal	27.61	74.49	73.68	125.98	131.45	136.79	5.03	5.29
- Hydro	27.78	29.53	26.18	31.81	32.05	32.28	-0.29	1.76
- Nuclear	0.92	5.19	51.90	59.31	61.07	60.28	22.31	1.26
- Geothermal								
Capacity of electrical plants (GWe)								
- Total	17.91	27.40	43.41	52.96	53.84	54.71	4.53	1.95
- Thermal	6.88	13.48	19.67	25.50	26.25	26.79	5.40	2.61
- Hydro	10.88	12.83	16.23	17.99	18.08	18.29	2.02	1.00
- Nuclear	0.15	1.09	7.51	7.57	7.57	7.57	21.49	0.07
- Geothermal				0.02	0.02	0.02		
- Wind				1.88	1.92	2.04		

(1) Electricity losses are not deducted.

(*) Energy values are in Exajoule except where indicated.

Source: IAEA Energy and Economic Database.

La siguiente figura entrega información sobre el consumo per cápita de energía y la proporción que la energía nuclear que aporta a la matriz energética española.

	1970	1980	1990	2000	2001	2002
Energy consumption per capita (GJ/capita)	51	81	95	133	134	137
Electricity per capita (kW.h/capita)	1,547	2,732	3,664	5,308	5,693	5,864
Electricity production/Energy production (%)	83	124	104	139	140	141
Nuclear/Total electricity (%)	2	5	34	27	27	26
Ratio of external dependency (%) (1)	70	77	68	79	85	90
Load factor of electricity plants						
- Total (%)	36	45	40	48	49	49
- Thermal	46	63	43	56	57	58
- Hydro	29	26	18	20	20	20
- Nuclear	69	54	79	89	92	91

(1) Net import / Total energy consumption.

Source: IAEA Energy and Economic Database.

Lo más crítico que se puede observar en esta tabla es que hasta el año 2002 la energía nuclear representaba un 26% en la producción de electricidad en España. Sin

embargo, hoy día sólo alcanza un 17% (2005). Al mismo tiempo, esto es crítico si se considera que el consumo eléctrico ha aumentado en la última década y la dependencia en la importación de otros combustibles para el suministro ha aumentado considerablemente.

Industria Eléctrica

En España existen cuatro productores de electricidad principales: Endesa, Iberdrola, Unión Eléctrica e Hidroeléctrica del Cantábrico. Las dos primeras producían cerca del 60% de la electricidad nacional al año 1998.

Endesa comenzó como una empresa estatal, y fue creada en 1958 con el objeto de promover la generación eléctrica en base a carbón. En los últimos años ha aumentado la participación privada en la organización. En 1998, la empresa se privatizó completamente, y ha adquirido en los últimos años empresas eléctricas pequeñas como ENHER, GESA, Electra de Viesgo, UNELCO, FECSA, entre otras.

En el mercado español también existen “productores especiales” que generan energía y calor en base a energía eólica, biomasa y de desechos. Su participación ha crecido, y en el año 2001 alcanzaron un 17% de la generación eléctrica española.

Red Eléctrica S.A. (REE) es otra compañía importante en el sector, y es la responsable de transportar y distribuir. Actualmente cada una de las empresas privadas cuenta con un 10% de participación, y el resto pertenece a accionistas privados y el Estado. Por su parte, la Compañía Operadora del Mercado Español de Electricidad (OMEL), fue creada por la Ley 54/1997 por el Sector Eléctrico y está a cargo de administrar económicamente el sector eléctrico. Específicamente se encarga de recibir las compras y ventas, y controlar las transacciones en el mercado.

En enero del 2004, España y Portugal firmaron un acuerdo conformando un mercado eléctrico pan-ibérico (Mibel). Este nuevo mercado permite que los generadores de ambos países puedan intercambiarse electricidad. De hecho, estuvo en conversaciones que OMEL y su par en Portugal, OMIP se fusionaran el 2006 para crear un solo operador de este mercado energético integrado.

Las centrales nucleares en España

En la actualidad existen 8 reactores nucleares de potencia operativos en España, ubicados en 6 centrales nucleares repartidas en distintas regiones del país: Almaraz, Ascó, Cofrentes, Santa María de Garoña, Trillo y Vandellòs. Además, posee otros dos reactores de potencia que fueron sacados de operación en 1990 y 2006: Vandellòs 1 y José Cabrera, respectivamente. De los 10 reactores construidos en el país, 8 de ellos son de tipo PWR y 2 de tipo BWR. El principal proveedor de tecnología nuclear ha sido Westinghouse Electric, que construyó 6 de esos reactores, todos de tipo PWR. Por otro lado, General Electric construyó los dos de tipo BWR existentes, la francesa CEA construyó un PWR de tipo UNGG (Magnox francés) y KWU-Siemens el PWR restante. Como puede apreciarse, la industria núcleo-eléctrica española posee una gran variedad de proveedores de tecnología nuclear, lo que le ha permitido desarrollar experiencia práctica con tres diseños de reactor distintos. Hoy en día el reactor Vandellòs 1, de tipo PWR-UNGG, se encuentra fuera de operación, pero los BWR y 6 de los PWR restantes se encuentran operando normalmente.

La central nuclear José Cabrera (también llamada Zorita) fue la primera construida en el país. Las obras civiles comenzaron en 1964 y luego de 4 años alcanzó su primera criticalidad en junio de 1968. Un año más tarde fue puesta en operación comercial, con una potencia de generación eléctrica de 160 MWe. Posee un reactor de tipo PWR fabricado por Westinghouse Electric. En octubre de 2002, la central nuclear recibió una prórroga autorizando su operación hasta el año 2006. El 30 de abril de dicho año, la central cesó su producción de forma definitiva.

La segunda central nuclear en ser construida fue Santa María de Garoña, en el norte del país. Posee un reactor de tipo BWR y de 466 MWe de potencia generadora, fabricado por General Electric. La construcción de la central comenzó en mayo de 1966 y el reactor alcanzó su primera criticalidad en noviembre de 1970. La puesta en marcha definitiva y conexión a la red fue realizada en 1971. La central nuclear de Garoña se encuentra en funcionamiento normal hasta el día de hoy y no se prevee su cierre en el mediano plazo.

La central nuclear de Vandellòs, en Cataluña, comenzó a construirse en junio de 1968. Su reactor nuclear fue construido por la francesa CEA, que fabricó un reactor PWR de gas-grafito (tipo Magnox), llamado UNGG por sus siglas en francés. Su potencia eléctrica original fue de 480 MWe, que llegaron a ser 508 MWe en 1990, luego de una serie de mejoras. El 31 de julio de dicho año, el reactor fue apagado de forma definitiva, luego de 18 años de funcionamiento. La razón de su salida de servicio fue el incendio de una turbina que provocó enormes daños en la planta y la hicieron económicamente infactible de reparar.

Los trabajos de construcción de la cuarta central nuclear del país comenzaron en julio de 1973. La central de Almaraz fue diseñada para contener dos unidades generadoras, cada una con un reactor PWR fabricado por Westinghouse Electric. Su potencia generadora actual es de 1956 MWe en total. Cabe destacar que la primera unidad alcanzó su primera criticalidad en mayo de 1981 y la segunda en 1983, diez años después del inicio de su construcción. La central entró definitivamente en operaciones en julio de 1984 y se encuentra operativa hasta el día de hoy.

La central nuclear de Asco comenzó su construcción en mayo de 1974, alcanzó su primera criticalidad en junio de 1983 y su primera unidad fue puesta en operación comercial a fines de ese mismo año. Cuenta con dos unidades generadoras, cada una de ellas equipada con un reactor de tipo PWR de 1000 MWe de potencia generadora, fabricado por Westinghouse Electric. Hoy en día la central pose una capacidad instalada total de 2043 MWe.

En septiembre de 1975 comenzaron los trabajos de construcción de la central nuclear de Cofrentes, en la costa oriental de España. Su primera criticalidad ocurrió en 1984 y fue puesta en operación comercial en marzo del año siguiente. Posee un reactor de tipo BWR con 1025 MWe de potencia generadora, fabricado por General Electric.

La central nuclear de Trillo, ubicada en el centro del país, cuenta con un reactor de tipo PWR de 1066 MWe. Fue fabricado por KWU-Siemens, junto con gran parte del equipamiento de la planta. Las obras civiles de su construcción comenzaron en

septiembre de 1979 y la central entró en operación comercial 9 años más tarde, en agosto de 1988.

La última central construida en el país corresponde a Vandellòs 2, que a pesar de compartir el nombre y la ubicación con Vandellòs 1, es una central completamente autónoma de esta última. Posee un reactor PWR de 1087 MWe, fabricado por Westinghouse Electric. Su construcción comenzó en 1980 y la planta entró en operación comercial en marzo de 1988.

Es importante destacar que las primeras tres centrales nucleares con las que contó el país, se construyeron bajo la modalidad de "llave en mano", por lo que la industria española tuvo una participación muy pequeña en la fabricación de componentes y piezas. En la construcción de la segunda generación de centrales y especialmente en las últimas, sí se utilizó una gran cantidad de equipos y componentes de fabricación doméstica. Entre las principales empresas que participaron están: E.N. Bazán, Ingersoll-Rand, Sulzer, Neyrpic, ABC, Betico, Poyam, ABB, Merlin-Gerin, Pirelli, Abengoa y CAE.

A.9.2 Marco legal y regulatorio

La regulación actual que rige en España respecto de la Energía Nuclear, tiene su origen en la Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear, promulgada en 1964, la cual ha sido actualizada varias veces por Decreto Real. La Regulación de Instalaciones Radiactivas y Nucleares se aprobó en diciembre de 1999, sustituyendo la anterior, en vigencia desde 1972.

La regulación española, además, está en concordancia con la legislación de la Comunidad Europea, de la cual España es miembro, que define un marco legal general al que deben ceñirse todos los países miembros que emplean la nucleoelectricidad como fuente energética.

En materia institucional, el Consejo de Seguridad Nuclear es el principal organismo regulador en el país, creado en 1980 por la Ley 15/1980. Este organismo se estudiará en mayor profundidad en las siguientes páginas de este capítulo.

Respecto al ciclo de combustible nuclear, la legislación lo separa en dos etapas principales:

- La primera contempla la obtención del combustible, en la que actualmente la legislación apunta esencialmente hacia la liberación del mercado del combustible nuclear, en concordancia con las leyes vigentes sobre el Sector Eléctrico, en el que se busca fomentar la competencia y el libre mercado.
- La segunda etapa contempla el manejo de combustible irradiado y los desechos radiactivos. Para esto se ha creado un fondo estatal destinado a financiar las operaciones requeridas en este ciclo y que son desempeñadas por ENRESA. La legislación vigente dictamina que un porcentaje de las cuentas eléctricas sea deducido para cubrir el fondo antes mencionado.

Finalmente, la responsabilidad civil por daño nuclear está normada de acuerdo con los principios que dictaminan las convenciones internacionales celebradas entre diversas naciones y de las cuales participa España. Estas normas dictaminan la magnitud de las indemnizaciones que debiese pagar cualquier entidad responsable de daños nucleares a terceros.

Estructura Institucional

Las principales Instituciones son:

Ministerio de Economía

Este Ministerio se encarga de los siguientes aspectos relativos a la energía nuclear:

Dictaminar normas y regulaciones

Otorgar licencias para:

- Instalaciones nucleares y radiactivas (salvo aquellas que sean competencia de autoridades locales)
- Transporte de material radiactivo
- Fabricación de componentes

- Comercio de materiales nucleares
- Suspender permisos en casos especiales
- Sancionar las violaciones a las normativas vigentes
- Aprobar la política de manejo de desechos radiactivos

Comisión de Seguridad Nuclear

La Ley 15/1980 creó el CSN como un organismo independiente de la Administración Central del Estado, siendo persona jurídica independiente y con su propio patrimonio. Como organismo creado para el servicio del Estado, debe rendir cuentas a las Cortes Generales, pero no está sujeto a la tutela del Gobierno o de organizaciones que promuevan la energía nuclear. Uno de los objetivos centrales de este Consejo es mantenerse como un actor imparcial en la materia, de modo de garantizar la transparencia de sus procedimientos en la mirada pública.

El CSN se considera la autoridad más relevante en materia de Seguridad Nuclear y Protección Radiactiva. El consejo está formado por 5 miembros designados por el Gobierno a través de una propuesta del Ministro de Economía. Esta designación debe ser ratificada por el Parlamento.

Actualmente posee alrededor de 400 empleados, manteniendo como política, dos inspectores en cada central nuclear de potencia del país. Sus principales funciones, designadas por ley, son5:

- Vigilar el medio ambiente: El CSN mide de manera continua y en tiempo real los niveles de radiactividad ambiental, mediante una red de estaciones automáticas en todo el territorio español. Posee redes de muestreo y análisis de la atmósfera, tierra y aguas.

El CSN exige como normativa a los operadores de centrales que mantengan planes de vigilancia radiológica ambiental, para lo cuál deben realizar 2.000 muestras y 13.000 análisis de agua, aire y alimentos. Los resultados de estas pruebas son corroborados

[5] www.csn.es Julio 2008

por el CSN de forma independiente para garantizar su veracidad y el cumplimiento de las disposiciones establecidas.

- Conceder licencias de personal: El CSN realiza exámenes y licencia el personal de operación de las instalaciones nucleares en todo el país. Asimismo, todo curso o capacitación realizada debe ser supervisada y aprobada por este organismo, de modo de comprobar que se cumplan los estándares nacionales e internacionales relativos a la preparación de recursos humanos en centrales nucleares.

- Informar sobre proyectos de instalaciones: Estudia e informa cada proyecto de instalación nuclear y radiactiva. Este procedimiento se realiza previo al permiso o autorización de funcionamiento de una instalación nuclear y exige estudiar todas las especificaciones del proyecto para verificar su cumplimiento con los requisitos establecidos para tales efectos.

- Controla el funcionamiento de las instalaciones: La organización realiza estrictos programas de control de instalaciones que emplean tecnología nuclear de cualquier tipo, desde centros de investigación hasta centrales de potencia, a fin de asegurar que se cumplan normas de seguridad en su funcionamiento.

Para cada reactor de potencia, existe un equipo dedicado que trabaja en el CSN, para analizar el funcionamiento de la planta y hacer un seguimiento específico e independiente de sus actividades. Además, como se mencionó antes, posee inspectores residentes en las centrales nucleares, que monitorean el correcto funcionamiento de las mismas e informan irregularidades al Consejo.

- Actuar en caso de emergencia: El CSN proporciona apoyo técnico en caso de emergencia nuclear o radiactiva y participa en la elaboración de los planes de emergencia. Además, colabora en la elaboración de los planes de emergencia para accidentes nucleares.

- Controlar las dosis de trabajadores: Controla la dosis de radiación que puedan recibir tanto los trabajadores expuestos como la población en general. El Consejo emite los dosímetros necesarios para los trabajadores de las instalaciones nucleares o

radiactivas. Posee un sistema de almacenamiento de datos respecto de la dosimetría de cada trabajador vinculado a instalaciones radiactivas, para poder realizar seguimientos de los datos e identificar anomalías de forma temprana.

- Realizar y promover planes de investigación: Realiza y promueve planes de investigación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. A pesar de no dedicarse a la investigación propiamente tal dentro de sus actividades, desarrolla sus planes de investigación y desarrollo para fomentar la investigación en los campos de la seguridad nuclear y la protección radiológica.

- Proponer reglamentación y normativa: Propone al Gobierno las reglamentaciones necesarias en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. En esencia estudia la normativa vigente y propone modificaciones a las mismas, de acuerdo a los cambios en la legislación nacional e internacional. Dado que España forma parte de la Unión Europea, debe mantenerse al tanto de los cambios en las directrices de la misma en materia de energía nuclear.

El CSN también puede dictar normas obligatorias sin necesitar la aprobación de organismos superiores.

- Informar a la opinión pública y a las Cortes: El Consejo debe realizar informes periódicos para los Diputados y el Senado, a fin de entregar información sobre sus actividades. Por otra parte, realiza una importante función de información ciudadana, en distintos medios de comunicación, para lograr mantener una visión positiva de la energía nuclear o un grado de aceptación de la misma.

- Mantener relaciones con la Administración del Estado: El Consejo de Seguridad Nuclear mantiene relaciones de cooperación técnica y legal con otros organismos del Estado, asesorándolos en todo aspecto que les compete, desde las relaciones internacionales al manejo específico de situaciones regionales ligadas al uso de tecnología nuclear.

- Mantener relaciones con otros organismos similares: Mediante una participación activa en grupos de trabajo en organismos internacionales y alianzas con organismos de competencias similares, el CSN realiza un importante intercambio de conocimientos y experiencias en temas como la seguridad nuclear, la protección radiológica y la gestión de los residuos radiactivos, que buscan beneficiar dichas actividades en España, mediante el empleo de las mejores prácticas disponibles.

Proceso de Licenciamiento

El proceso de licenciamiento de instalaciones nucleares en España está regulado por la Ley 25/1964 y las posteriores modificaciones a la misma. En términos simples, el proceso de licenciamiento de una instalación nuclear contempla los siguientes pasos:

- Autorización de sitio: contempla un reconocimiento formal del propósito y la localización de la instalación en cuestión.
- Autorización de Construcción: permite comenzar la construcción de la instalación.
- Autorización de Operación: permite introducir combustible nuclear a la planta y operarla.

Además contempla una autorización para el desmantelamiento y la modificación de las plantas. La figura a continuación muestra el proceso de licenciamiento para una instalación nuclear.

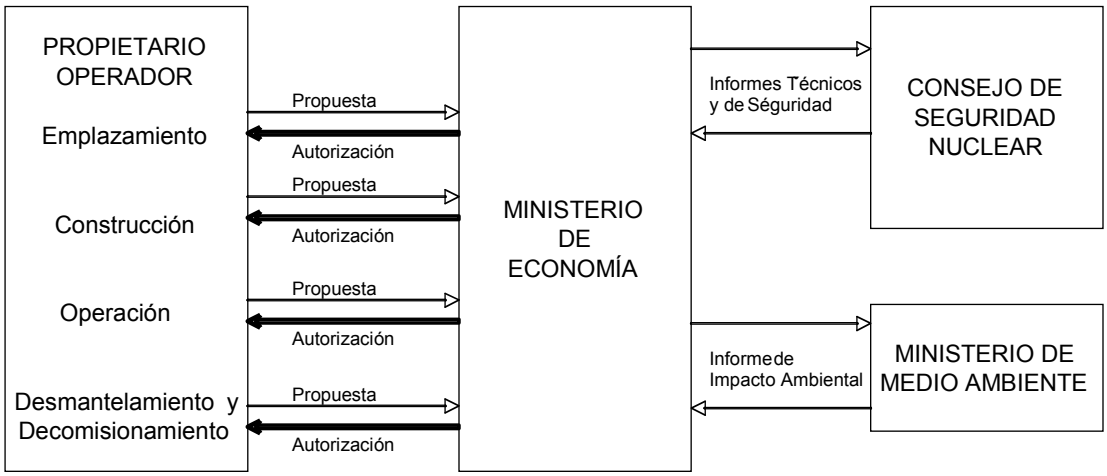


Figura A.9.4: Procedimiento de Licenciamiento de Instalaciones Nucleares en España
Fuente: IAEA Country Profiles (2001)

Las autorizaciones y permisos son entregadas por el Ministerio de Economía, bajo el consejo del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Esta institución entrega reportes sobre la seguridad nuclear y protección radiológica de la instalación, que están sujetos a responsabilidad legal en caso de proceder con las autorizaciones pertinentes (i.e. el CSN podría ser demandado si sus informes llevan a la autorización de una instalación que no debiese haberla obtenido). Además, antes de poder comenzar con la construcción, toda instalación debe ser aprobada por el Ministerio de Medioambiente, entregando un informe de impacto ambiental.

Asimismo, las instalaciones deben someterse a las normativas locales del lugar de emplazamiento del proyecto, cumpliendo con las pruebas, análisis y validaciones requeridas. Por otra parte, en relación a la opinión pública, se establece un periodo de 30 días previo a la obtención de la autorización de emplazamiento, para que cualquier miembro del público presente alegatos y se realicen audiencias civiles en que pueden participar los ciudadanos.

A.9.3 Seguridad de suministro de combustible nuclear

Desde el año 2000, cuando cerró definitivamente su última mina, que España no produce más uranio. El uranio es importado hoy desde un gran número de países, de

forma de diversificar su suministro. Los principales proveedores y su participación son: Rusia (30%), Canadá (17%), Australia (15%), Estados Unidos (14%), Namibia (12%) y Níger (12%). En la República del Níger, ENUSA (Empresa Nacional del Uranio) posee una importante participación en la propiedad de la minera COMINAK, junto a otras empresas europeas.

ENUSA Industrias Avanzadas S.A. es una compañía estatal que se encarga de la compra de uranio, su enriquecimiento y la fabricación del combustible nuclear para todas las centrales eléctricas españolas. Su principal actividad económica es la venta de combustible nuclear, que no solo realiza en España, ya que exporta cerca de un 50% de su producción a otros países de la Unión Europea. Los servicios de enriquecimiento no se realizan domésticamente, sino en Francia, donde ENUSA posee un 11% de participación en la propiedad de EURODIF, un consorcio nuclear europeo con plantas de enriquecimiento en dicho país. Además de la función de compra y procesamiento del uranio, ENUSA realiza todas las gestiones logísticas asociadas a su transporte, hasta la fabricación del combustible final.

La empresa posee licencias de Westinghouse y General Electric para la fabricación de combustible para los reactores PWR y BWR existentes en el país. También fabrica el combustible para un reactor VVER (PWR de diseño ruso) en Finlandia. Junto con los servicios de fabricación, ENUSA ofrece asesoría técnica en ingeniería nuclear y diseño de combustible a las operadoras nucleares, junto con el monitoreo del desempeño del combustible en la central.

La fábrica de combustible nuclear de Juzbado es el centro productivo principal de ENUSA. En 2006 llegó a fabricar 920 elementos combustibles, de los cuales 440 fueron de tipo PWR y 480 de tipo BWR. Ello es equivalente a un total de 258,4 toneladas de uranio. Desde que la planta comenzó sus operaciones en 1985, ha fabricado un total de 4.120 toneladas de uranio, en la forma de elementos combustibles.

A.9.4 Seguridad y Protección Nuclear

Asesoría y Verificación de Seguridad

La información que se presenta a continuación es una recopilación de lo presentado por el CSN en su página de Internet, al año 2008.

El CSN realiza el seguimiento y el control del funcionamiento de las instalaciones nucleares españolas. El seguimiento se lleva a cabo por dos vías: evaluación de la información que se recibe sobre las instalaciones y realización de visitas de inspección, y evaluación de las actas de las mismas.

Las instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría en funcionamiento, deben presentar al CSN un informe anual sobre las actividades realizadas. Durante el 2006 el CSN recibió un total de 1.143 informes de instalaciones radiactivas (además de otros derivados de instalaciones de rayos X y de comercialización), y se realizaron 1.638 inspecciones a instalaciones radiactivas.

Entidades que prestan servicios en materia de protección radiológica

La legislación española establece que existen entidades especializadas que realicen funciones de protección radiológica en las instalaciones nucleares y radiactivas o que asesoran a los titulares de estas instalaciones. Las entidades disponibles son los Servicios de Protección Radiológica (SPR), las Unidades Técnicas de Protección Radiológica (UTPR) y las empresas de venta y asistencia técnica. Los SPR se constituyen con carácter interno en instalaciones como centrales nucleares con el fin de realizar las funciones de protección radiológica acorde a la petición del CSN. Por su parte, las UTPR son entidades, generalmente, independientes de cualquier instalación radiactiva, y realizan funciones de protección radiológica en las instalaciones nucleares (centrales nucleares por ejemplo). Por último, todas las entidades de servicios se constituyen con el propósito de mejorar la situación de las instalaciones nucleares españolas, en lo que se refiere a protección radiológica de los trabajadores, del público y del medio ambiente. En otras palabras, son un apoyo al CSN en el cumplimiento de sus funciones, ya que permiten controlar indirectamente diversos aspectos del funcionamiento de las instalaciones tales como compras, verificaciones de equipos y

fuentes radiactivos, dosimetría del personal, gestión de residuos o procedimientos y prácticas de protección radiológica.

Las entidades previamente mencionadas realizan funciones en los siguientes ámbitos:

- Clasificación de zonas en función del riesgo de exposición a radiaciones ionizantes dentro de una instalación.
- Señalización de las zonas y definición de normas de acceso, permanencia y trabajo en ellas.
- Realización de comprobaciones a la salida de las zonas con riesgo de contaminación, para verificar que los trabajadores están libres de contaminación.
- Vigilancia de los niveles de radiación.
- Definición de métodos a seguir en la gestión de residuos.
- Vigilancia de las dosis de radiación que reciben los trabajadores.
- Definición de la indumentaria y equipo de protección que ha de usarse en cada zona.
- Información y formación del personal en materia de protección radiológica.

A fines del 2006 existían en España 66 SPR autorizados y 46 UTPR autorizadas.

Un punto importante a resaltar en la experiencia española tiene relación con el control de fuentes de radiación denominadas “huérfanas” (fuentes radiactivas sobre la que, o nunca ha habido o se ha perdido el control). De hecho, el día 24 de febrero de 2006, se aprobó el Real Decreto 229/2006 sobre el Control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas (publicado en el Boletín Oficial del Estado el 28 de febrero). Este Decreto está sujeta a la reglamentación nacional la Directiva 122/2003/Euratom. Establece requisitos para conseguir, por un lado, un estricto control de las fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad durante todo su periodo de vida, desde su fabricación hasta su correcta gestión al final de su vida útil, y por otro, hacer frente a los riesgos que plantea la existencia de las fuentes huérfanas, estableciendo los cauces conducentes a su detección y recuperación del control sobre ellas.

Los poseedores autorizados de fuentes de alta actividad deberán llevar una hoja de inventario normalizada de cada una de ellas, en la que consten, entre otros datos, el número de identificación así como las transferencias y revisiones de las que ha sido objeto. El Consejo de Seguridad Nuclear lleva un inventario de ámbito estatal de poseedores de este tipo de fuentes y de las fuentes que poseen. En relación con las fuentes huérfanas el nuevo Real Decreto prevé la realización de campañas para recuperación de fuentes procedentes de actividades del pasado y se establecen las garantías financieras necesarias para hacer frente a su retirada y a los incidentes que cualquier fuente de este tipo pueda provocar.

Protección Radiológica

En 1992 España constituyó una Regulación sobre Protección a Radiación Ionizante (Decreto Real Nº 53) con el objeto de consolidar todas las reglamentaciones en un solo documento. Estas regulaciones tienen relación a provisiones técnicas y administrativas que deben tener instalaciones nucleares y radiactivas, además de regulaciones de seguridad nuclear. En particular, se basan en las recomendaciones de la IAEA, NEA (Nuclear Energy Agency, OECD), ILO (International Labour Organisation) y WHO (World Health Organisation). Se basan por lo tanto en medidas de protección básicas establecidas para personas que trabajan en instalaciones irradiadas, asi como también de la comunidad pertinente. Esta Regulación dicta también acciones para la supervisión médica (Sección 40-46), desechos radiactivos (Sección 53-59) e inspección de las instalaciones y actividades que son potenciales sectores de irradiación (Sección 60-63).

Este documento explicita diversas penas y sanciones en caso de no cumplir con la regulación. Este documento es bastante claro en la definición de los niveles de exposición permitidos, no dejando espacio a ambigüedades.

Las autoridades responsables de asegurar la implementación de las Regulaciones son el Ministerio de Economía, el de Salud y el CSN, sin desmerecer la colaboración de otros ministerios o agencias nacionales.

En torno a los diversos aspectos de protección radiológica (medicina, trabajadores, etc), España es responsable definiendo para diferentes sectores el nivel de exposición, dosis máximas, entre otros aspectos. De este modo, el principio básico de protección radiológico en que se basa este país es ALARA: “As Low As Reasonable Achievable”. Es decir, este principio se fundamenta en la recomendación de que todas las exposiciones se mantengan tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos”.

Complementando el cuadro, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) – cuerpo de expertos independientes no gubernamental – establece periódicamente recomendaciones, o principios fundamentales, sobre la forma segura de trabajo con radiaciones.

Por último es relevante mencionar que el CSN, como máxima autoridad en la materia, presenta de forma abierta información detallada sobre prevención a la exposición radiactiva; servicios de dosimetría personal; información del Banco Dosimétrico Nacional (BSN); información para trabajadores externos; datos dosimétricos de los trabajadores; sistema de información sobre exposiciones ocupacionales (ISOE) y sobre licencias de personal de II.RR. y acreditaciones para radiodiagnóstico.

Para efectos de estadísticas recopiladas en España sobre niveles de exposición de los trabajadores de las centrales españolas, se presentan los siguientes resultados en la tala

Instalaciones		Número de trabajadores	Dosis colectiva (mSv.persona)	Dosis individual media (mSv/año)
Centrales nucleares		6.449	3.457	1,29
Instalaciones del ciclo del combustible, de almacenamiento de residuos y centros de investigación (Ciemat)		1.192	52	0,38
Instalaciones radiactivas	Médicas	75.458	18.674	0,66
	Industriales	6.858	2.684	0,94
	Investigación	4.734	442	0,35
Instalaciones en fase de desmantelamiento y clausura		5	0	0
Transporte		92	174	2,72

Figura A.9.5: Información Dosimétrica para los distintos tipos de instalaciones españolas (2006). Fuente: CSN (BDN, 2006)

La siguiente figura corresponde a la evolución desde 1995 de la dosis colectiva media para reactores de tipo BWR y su situación comparativa con la experiencia internacional.

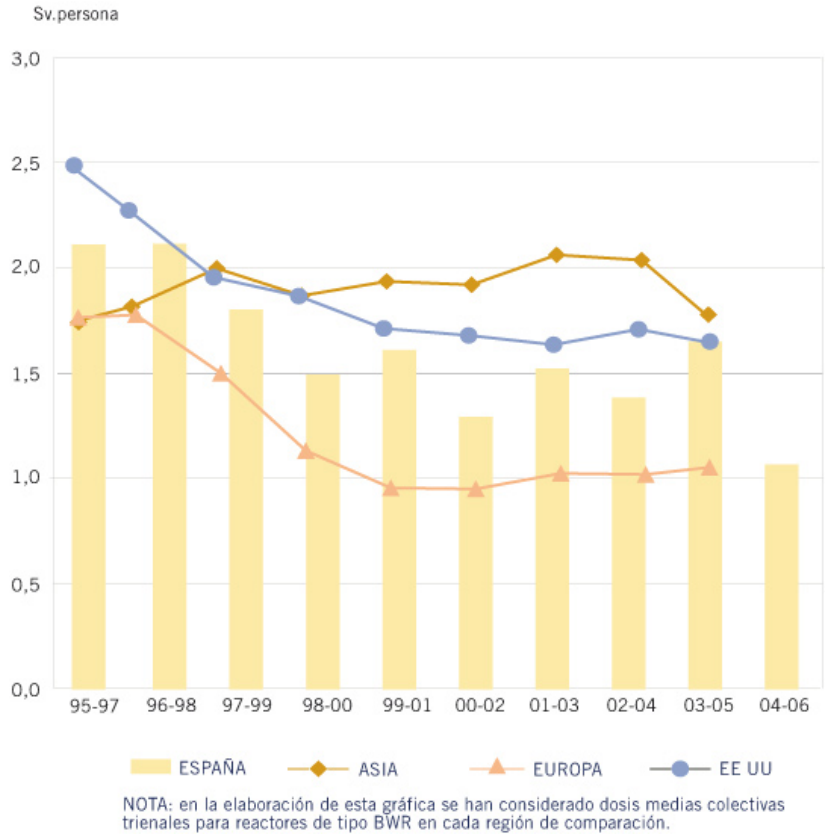


Figura A.9.6: Dosis colectiva media para reactores de tipo BWR. Comparación internacional Fuente: CSN (BDN, 2006).

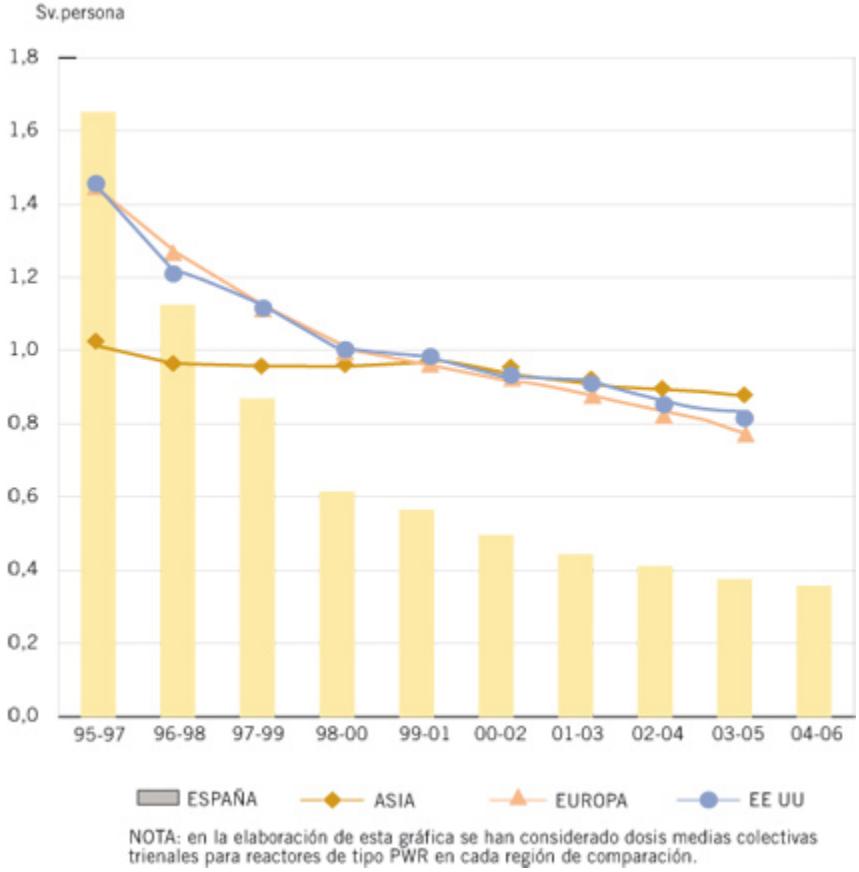


Figura A.9.7: Dosis colectiva media para reactores de tipo PWR. Comparación internacional
Fuente: CNS (BSN, 2006)

Tal como se puede apreciar, las gráficas comparativas sitúan a España con índices más elevados que en algunos países (para el caso de reactores de tipo BWR). En cambio, la experiencia con reactores del tipo PWR es significativamente mejor, ya que en la última década ha logrado que la dosis media se considerablemente menor que el resto de las experiencias mundiales allí comparadas.

Preparación en caso de Emergencia

Dos convenios crean el marco jurídico para la cooperación y coordinación internacionales en caso de emergencia nuclear o radiológica: el Convenio sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica y el Convenio sobre la pronta notificación de accidentes nucleares, ambos bajo los auspicios del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Los Convenios establecen un sistema de notificación de los accidentes nucleares que pueden dar lugar a emisiones transfronterizas de importancia para la seguridad radiológica de otro Estado y crean un marco internacional para la cooperación entre las Partes y con el Organismo con el fin de facilitar la pronta prestación de asistencia y apoyo en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica. En junio de 2004, la Junta de Gobernadores aprobó un Plan de Acción Internacional destinado al fortalecimiento del sistema internacional de preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear y radiológica. Al final de 2004 había 90 Partes Contratantes en el Convenio sobre Asistencia y 94 en el Convenio sobre pronta notificación.6

La Ordenanza del 29 de marzo de 1989 aprobó el Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN). Éste contiene las acciones que se deben cumplir cuando ocurran situaciones de emergencia y que se deben llevar a cabo a nivel de provincia bajo los estándares establecidos por el CSN. El Ministerio del Interior es el responsable de hacer las modificaciones pertinentes a este plan.

En cada provincia donde se sitúe una planta nuclear se designa un representante del Gobierno, quien ejerce como Director del Plan Provincial respectivo. Él es responsable de declarar las situaciones de emergencia, decidir las acciones a seguir, informar a la comunidad y determinar las medidas de seguridad requeridas. Al mismo tiempo, grupos locales son creados para lidiar con la emergencia y coordinar las operaciones.

En caso de emergencia, ENRESA tiene la tarea de apoyar a las autoridades competentes. El PLABEN es un programa de carácter general y de alcance nacional, y en este sentido ENRESA colabora con el CSN quien está a cargo de coordinar acciones adicionales a las descritas en el PLABEN (ENRESA es miembro del “Grupo Radiológico” de respuesta, que dirige el CSN).

El sistema nacional realiza periódicamente ejercicios y simulacros de preparación, en los que ENRESA participa regularmente. Al mismo tiempo, ENRESA coopera en

[6] Ref. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio España. www.mytyc.es/Nuclear/Seccion/Residuos (19/10/2008).

actividades de formación en materia de protección radiológica y de gestión de residuos radiactivos, de los Cuerpos y Fuerza de Seguridad del Estado y de otras instituciones, cuya participación en caso de emergencia es inminente.

A continuación se presenta un extracto de lo presentado por el CSN en caso de producirse un accidente:

"se activarían los planes de emergencia preparados para garantizar una adecuada respuesta de las autoridades y de los servicios públicos y privados necesarios para garantizar una adecuada protección de la población. A partir de ese momento las autoridades responsables de los planes informarán, sin dilación, a la población efectivamente afectada sobre los datos de la situación de emergencia, sobre el comportamiento que debe adoptarse y, en función de la situación de que se trate, sobre las medidas de protección que deben aplicarse. La información a la población se efectuará a través de los diversos medios disponibles: megafonía, emisoras de radio y de televisión."7

"Para el caso de las poblaciones incluidas en las zonas de planificación de emergencias de las centrales nucleares se han editado folletos con información precisa sobre cómo actuar en caso de emergencia. Estos folletos están particularizados para cada núcleo de población concreto, considerando tanto la zona a la que pertenece, que determina las necesidades específicas de preparación de emergencias, como los datos y características propios de cada municipio (rutas de evacuación, puntos de reunión o sistemas de aviso fijos y móviles). Estos folletos se han editado conjuntamente por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias y el Consejo de Seguridad Nuclear."8

La información contenida en estos folletos se resume a continuación:

- Ante la remota posibilidad de que sucediera un accidente nuclear se puede adoptar una actitud de prevención y seguridad básicas:

[7] www.csn.es
[8] Idem.

- Disponer de radio, linterna y botiquín.
- Tener localizados los documentos relevantes.
- Saber qué cosas sería importante llevar en caso de que fuera necesario abandonar el domicilio momentáneamente.

¿Qué hacer en caso de accidente nuclear?

En caso de que sucediera un accidente nuclear el Plan de Emergencia se pondría en marcha. Las autoridades darían la señal de alarma a través de la megafonía fija, distribuida en altavoces a lo largo del casco urbano, y la megafonía móvil. A partir de ese momento las autoridades mantendrían a la población permanentemente informada por diversos medios y transmitirían las medidas adecuadas a seguir en cada caso, dependiendo de las circunstancias y de la evolución del suceso. En caso de emergencia es importante atender sólo a fuentes oficiales y conservar la confianza y serenidad.

El siguiente cuadro esquematiza y concluye cómo funciona a grandes rasgos el plan de acción dispuesto por el CSN.

Figura A.9.8: Plan de Acción CSN, 2008
Fuente: CSN

A.9.5 Manejo de Residuos Nucleares[9]

[9] Se usa referencia directa de información recopilada del Sexto Programa de Gestión de Residuos Radiactivos de España, 2006, publicado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España.

ENRESA S.A., es la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, y fue creada mediante el Decreto Real 1522/84. Es la entidad responsable de la gestión de todos los residuos radiactivos producidos en España.

En España se debe gestionar principalmente:

- Residuos de media y baja actividad procedentes de las instalaciones nucleares y radiactivas.
- Combustible gastado generado por las centrales nucleares.
- Residuos procedentes del reproceso en el extranjero de combustible gastado.
- Otros procedentes del desmantelamiento de centrales nucleares y aplicaciones en medicina, industria, etc., cuyas características impidan el trato como residuos de baja y media actividad acondicionados (RBMA).

El Real Decreto 1349/2003 indica que ENRESA debe elaborar anualmente una Memoria que contenga todas sus actividades del periodo, y cada 4 años, o bien, cuando así lo requiera el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, una revisión del Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR). Este Ministerio lo eleva al Gobierno para su aprobación.

Los residuos de baja y media actividad procedentes de la operación de las centrales nucleares son acondicionados por las mismas, debiendo cumplir los criterios de aceptación establecidos para su almacenamiento definitivo en el Centro de Almacenamiento de Residuos de Baja y Media Actividad de ENRESA en El Cabril (Córdoba). Estos residuos se almacenan de forma temporal en instalaciones de las centrales a la espera del traslado. En el año 2006, se produjeron un total de 620,4 m3 de residuos sólidos, y 598,58 m3 fueron retirados por ENRESA. A continuación se presenta un resumen de los residuos generados por cada central y retirados por ENRESA. También se añade el grado de ocupación de los almacenes temporales.

CENTRAL NUCLEAR	RESIDUOS GENERADOS (m^3)	RESIDUOS RETIRADOS (m^3)	GRADO DE OCUPACIÓN (%) (*)
José Cabrera	61,16	142,74	—
Sta. María de Garoña	83,16	28,38	46,80
Almaraz	107,80	69,30	30,07
Ascó I	61,38	44,90	32,41 (**)
Ascó II	41,58	49,24	32,41 (**)
Cofrentes	163,24	164,34	36,08
Vandellós II	49,50	62,04	12,10
Trillo	52,58	35,64	12,41

Fuente: UNESA y elaboración propia.

(*) Datos a 31 de diciembre de 2006.

(**) Existe un único almacén de residuos para las dos unidades de la central nuclear de Ascó.

Tabla A.9.2: Gestión de Residuos de Baja y Media Actividad
Fuente: Foro Nuclear: Resultados y Perspectivas Nucleares, España 2006.

En cuanto al combustible gastado, las centrales nucleares españolas se diseñaron con la capacidad de almacenarlos temporalmente en piscinas construidas dentro de sus propias instalaciones. En la central Trillo fue necesario construir un almacén temporal en seco para el combustible ya que el año 2002 su piscina se saturó.

Al fines del 2006, existía un total de combustible gastado en las piscinas de las centrales equivalente a 3.456 toneladas de uranio. La siguiente figura permite tener una estadística de la cantidad de combustible gastado almacenado en cada central y su grado de ocupación. Es importante destacar que existe la obligación legal por seguridad de dejar una reserva de capacidad igual a la de un núcleo completo.

CENTRAL NUCLEAR	COMBUSTIBLE GASTADO ALMACENADO (tU) (*)	GRADO DE OCUPACIÓN (%)	AÑO PREVISTO DE SATURACIÓN
José Cabrera	95,75	68,80	—
Sta. María de Garoña	311	67,00	2019
Almaraz I	496	59,65	2021
Almaraz II	463	55,65	2022
Ascó I	448	76,90	2013
Ascó II	408	69,90	2015
Cofrentes	508	70,71	2014
Vandellós II	360	54,56	2020

Fuente: Elaboración propia. Datos a 31 de diciembre de 2006.
(*) tU = toneladas de uranio.

Tabla A.9.2: Almacenamiento de Combustible Gastado en Centrales Nucleares Españolas
Fuente: Foro Nuclear: Resultados y Perspectivas Nucleares, España 2006.

En general, el siguiente esquema permite esquematizar los residuos radiactivos a gestionar en España.

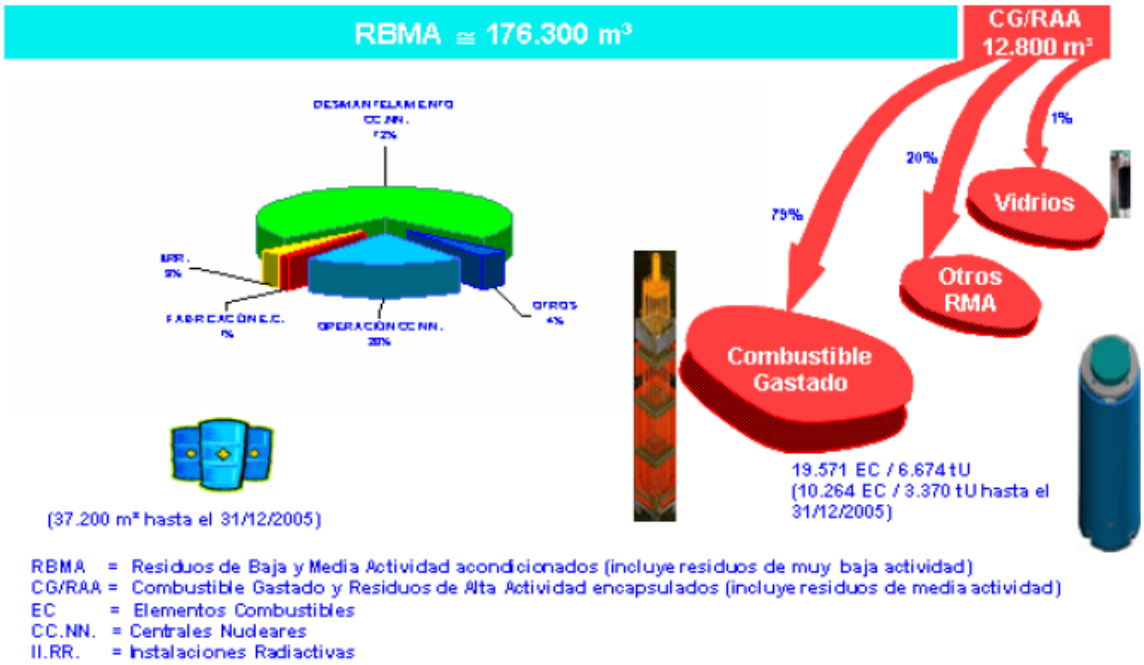


Figura A.9.8: Residuos Radiactivos a Gestionar en España
Fuente: Sexto Programa de Gestión de Residuos Radiactivos España (PGRR, 2006).

La gestión de los residuos radiactivos se financia a través del denominado Fondo para la financiación de las actividades del PGRR, que se dota mediante los ingresos provenientes de las siguientes vías, a los que se suman sus rendimientos financieros:

- Facturación a los titulares de las centrales nucleares de los costes correspondientes a la gestión de residuos radiactivos y combustible gastado generados en las centrales nucleares y su desmantelamiento y clausura, que sean atribuibles a la explotación de las mismas llevada a cabo con posterioridad al 31 de marzo del 2005.
- Aplicación de porcentajes sobre la recaudación por venta de energía eléctrica a tarifas y peajes, que se establecen de forma que las cantidades totales procedentes de esta vía, más los rendimientos financieros que se generen, cubran los costes futuros correspondientes a la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares, y a su desmantelamiento y clausura, que sean atribuibles a la explotación de éstas llevada a cabo antes del 1º de abril del 2005.
- Facturación a los titulares de las instalaciones radiactivas generadoras de residuos.

Este fondo sólo se puede destinar a costear las actuaciones previstas en el PGRR y al concluir el periodo de gestión de los residuos radiactivos y del desmantelamiento de las instalaciones contempladas en el PGRR las cantidades totales en él ingresadas deberán cubrir los costes incurridos de tal manera que el saldo final sea cero.

El valor del Fondo al 31de diciembre de 2006, a efectos de planificación, es de 1.835 M€, como resultado de la diferencia entre los ingresos y los costes incurridos hasta esa fecha. Se estima un costo total de 13.000 M€ para todo el periodo de gestión considerado, que es hasta el año 2070.

La figura a continuación desglosa el costo total de la gestión de residuos radiactivos y de desmantelamiento de instalaciones nucleares en España.

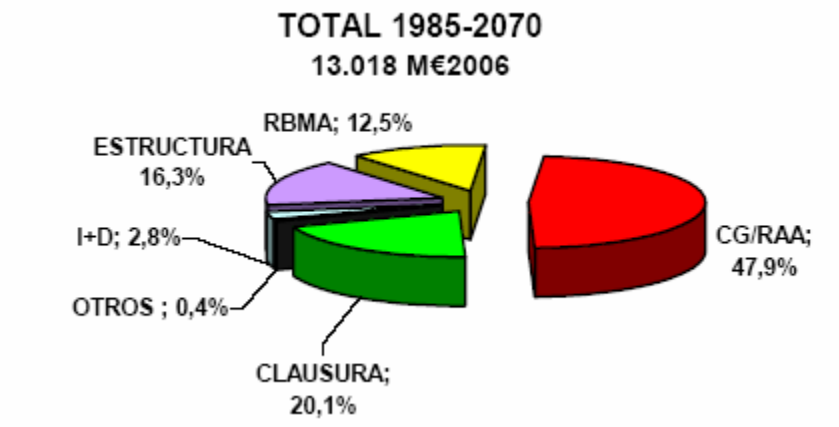


Figura A.9.9: Costo Total Gestión Residuos Nucleares y Desmatelamiento España
Fuente: Sexto Programa de Gestión de Residuos Radiactivos España (PGRR, 2006).

Complementando el cuadro anterior, se presenta la distribución de los costos futuros de la gestión de los residuos en el horizonte de tiempo establecido.

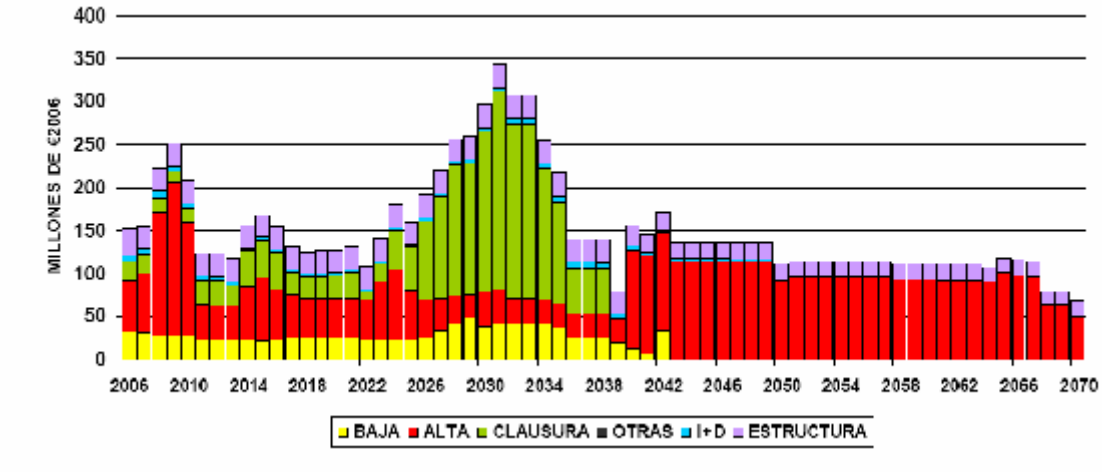


Figura A.9.10: Distribución de Costes Futuros de la Gestión en el Tiempo
Fuente: Sexto Programa de Gestión de Residuos Radiactivos España (PGRR, 2006).

Es importante recalcar que España es parte de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Residuos Radiactivos, que fue ratificada en abril de 1999.

A.9.6 Decomisionamiento de Centrales Nucleares

En España, la responsabilidad del desmantelamiento y decomisionamiento de las centrales nucleares está concentrada en la agencia nacional ENRESA. Esta es la institución gubernamental responsable de estas funciones además del manejo de residuos radiactivos (previamente mencionado). Asimismo, ENRESA es a institución encargada de recolectar y administrar los fondos necesarios para llevar a cabo el decomisionamiento de las instalaciones. A continuación, se presenta un cuadro resumen sobre el estado actual de las actividades de clausura y desmantelamiento de instalaciones españolas.

INSTALACIONES NUCLEARES EN PROCESO DE CLAUSURA Y DESMANTELAMIENTO			
Nombre Instalación	Ubicación (Provincia)	Situación Actual (31-12-2005)	Hitos de la Clausura y el desmantelamiento
C.N. Vandellós I	Tarragona	Desmantelamiento parcial (nivel 2 según etapas del OIEA) concluido	1990. Fin del permiso de operación de la C.N.. tipo uranio natural-grafito-gas tras 17 años de operación 1992. Aprobación de la alternativa de Clausura por MINER/CSN 1994. Presentación del Plan de Clausura y Desmantelamiento 1997. Declaración de Impacto Ambiental 1998. Aprobación del Plan e inicio de las actividades 1999. Autorización del CSN para desmantelamiento en zonas activas 2003. Finalización obras desmantelamiento (nivel 2) 2005. Autorización de latencia

Reactor de investigación Argos	Barcelona	Desmantelado en 2002	1977. Parada definitiva 1992. Retirada de combustible 1998. Orden Ministerial por la que se autoriza el desmantelamiento 2003. Declaración de clausura
Reactor de investigación Arbi	Bilbao	Desmantelado en 2004	1972. Parada definitiva 1992. Retirada del combustible 2002. Orden Ministerial por la que se autoriza el desmantelamiento 2005. Declaración de clausura
Instalaciones del CIEMAT	Madrid	En proceso de licenciamiento	2001. Aprobación del Plan Director para la Mejora de las Instalaciones del CIEMAT 2002. Presentación del Plan de Desmantelamiento al MINECO, CSN. Presentación del Estudio de Impacto Ambiental al MINMA. Solicitud de licencia de obras al Ayuntamiento de Madrid 2005. Autorización de desmantelamiento

España usa como referencia para materia de clausura y desmantelamiento de las centrales nucleares, los niveles de las tareas de desmantelamiento del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esta institución propone 3 niveles para llevar a cabo las labores respectivas.

- Nivel 1: Retiro del combustible, acondicionamiento de los residuos de operación de la central, desconexión de los sistemas, limitar y vigilancia de la zona. Es decir, la central se mantiene detenida indefinidamente.
- Nivel 2: Descontaminación y recuperación de los componentes, equipos y estructuras que pudieran ser reutilizados. Desmantelación de los sistemas y demolición de edificios. En esta etapa se restaura el terreno y la vasija del reactor se guarda bajo vigilancia.
- Nivel 3: Desmantelamiento de la vasija del reactor. La descontaminación debe ser total para que luego el terreno pueda ser utilizado sin restricciones.

En conclusión, el desmantelamiento genera residuos y gran cantidad de materiales. Por lo tanto, el proyecto de desmantelamiento debe permitir reducir al mínimo el volumen de materiales a gestionar, identificar aquellos radiactivos y encontrar una utilidad para el resto de los materiales. A continuación se hace una breve referencia a el desmantelamiento de la central nuclear de Vandellós I.

Desmantelamiento de Vandellós I

La central nuclear de Vandellós I (Tarragona) es la primera central nuclear desmantelada en España. Fue cerrada en 1990 tras un incendio ocurrido en el grupo turbo-alternador Nº2. El Plan de Desmantelamiento y Clausura fue elaborado y ejecutado por ENRESA entre los años 1998 y 2003. Concluidos los trabajos, se inicia un periodo mínimo de 25 años de espera, denominado periodo de latencia, que tiene por objeto permitir que la radiación del interior del cajón del reactor decaiga a niveles que faciliten su total desmantelamiento (nivel 3) con el mínimo impacto radiológico, dejando finalmente liberado el emplazamiento para cualquier otro uso. El siguiente esquema presenta la cantidad de material gestionado en el desmantelamiento de esta central.

A.9.7 Compromisos Nacionales e Internacionales

Acuerdos con la IAEA

AGREEMENTS WITH THE IAEA

• NPT related safeguards agreement INFCIRC/193	Accession:	5 April 1989
• Project related safeguards agreement; INFCIRC/99	Entry into force:	23 June 1967
• Additional Protocol (GOV/1998/30)	Signature:	22 September 1998
• Improved procedures for designation of safeguards inspectors	Rejected, but as EC member agreed to special procedure.	
• Supplementary agreement on provision of technical assistance by the IAEA	Entry into force:	10 June 1980
• Agreement on privileges and immunities	Entry into force:	21 May 1984

Tratados Internacionales Importantes

• NPT	Entry into force:	5 November 1987
• EURATOM		Member (1985)
• CTBTO	Signed: Ratified:	24 September 1996 31 July 1998
• Convention on physical protection of nuclear material	Entry into force:	6 October 1991
• Convention on early notification of a nuclear accident	Entry into force:	14 October 1989
• Convention on assistance in the case of a nuclear accident or radiological emergency	Entry into force:	14 October 1989
• Vienna convention on civil liability for nuclear damage	Signature:	6 September 1963
• Paris convention on civil liability for nuclear damage	Signature:	31 October 1961
• Protocol to amend the Paris convention on civil liability for nuclear damage	Ratification:	1988
• Brussels supplementary to the Paris convention	Signature:	27 July 1966
• Protocol to amend the Brussels supplementary convention	Ratification:	1988
• Convention relating to civil liability in the field of maritime carriage of nuclear materials	Accession:	21 May 1974
• Joint protocol	Signature:	21 September 1988
• Protocol to amend the Vienna convention on civil liability for nuclear damage		Not signed

• Convention on supplementary compensation for nuclear damage		Not signed
• Convention on nuclear safety	Entry into force:	24 October 1996
• Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management	Entry into force:	18 June 2001
• ZANGGER Committee		Member
• Nuclear Export Guidelines		Adopted
• Acceptance of NUSS Codes	Summary: Codes consistent with Spanish standards.	
• Nuclear Suppliers Group		Member

Acuerdos Bilaterales

- Co-operation agreements with France
- Co-operation agreements with Germany
- Co-operation agreements with Portugal
- Co-operation agreements with United Kingdom
- Co-operation agreements with Spanish speaking countries in America
- Co-operation agreements with Brazil

A.9.8 Rol del gobierno en la energía nuclear

En octubre de 1948 se forma la Junta de Investigaciones Atómicas, al alero del Laboratorio y Taller de Investigación del Estado Mayor de la Armada Española. El Gobierno Militar de España hace una fuerte apuesta por la investigación y desarrollo de la tecnología nuclear en el país, atraído fuertemente por sus futuras aplicaciones militares y civiles. Cabe destacar que la conformación de este organismo no tuvo grandes repercusiones en la opinión pública, debido a su carácter de reservado. La JIA se centró desde entonces en tres grandes áreas: formación de personal, estudio de la explotación de yacimientos de uranio y la aplicación y desarrollo de técnicas relacionadas con la extracción, metalurgia y propiedades físicas del uranio. En 1951 se crea la Junta de Energía Nuclear, con la finalidad de concentrar la investigación y

desarrollo de la tecnología nuclear en el país. Con la creación de la JEN, se termina con el carácter reservado de las investigaciones nucleares y se hacen públicas. Debido a ello, España comienza a participar de diversos foros internacionales y el mundo académico y la industria privada comienzan a colaborar con el desarrollo nuclear

Desde 1951 en adelante, la industria privada comenzó a tomar cada vez mayor protagonismo en el desarrollo de la infraestructura nuclear, y el Estado, a través de la JEN, se dedicó a las labores de estudiar, planificar, regular y controlar la incipiente industria núcleo-eléctrica del país. Fuera de no participar directamente en la propiedad de las primeras centrales nucleares, el Estado español tuvo un gran papel en el desarrollo de la industria nuclear. La experiencia acumulada durante los años de investigación y desarrollo tecnológico a cargo de la JIA y la JEN fueron de gran utilidad para la planificación y las decisiones acerca del diseño de las centrales. Además, la decisión estatal de promover el desarrollo de la industria núcleo-eléctrica, como sector estratégico de la economía dio a la empresa privada una gran seguridad al momento de invertir en el sector. El Gobierno Militar de España, valoraba la independencia energética que la energía nuclear le ofrecía, además del manejo de una tecnología de punta, con grandes proyecciones de desarrollo en la época. Ello le permitía, de cierta manera, escudarse ante el aislamiento político que sufría en Europa, producto de su naturaleza nacionalista y autoritaria. De esta manera, el Estado participó activamente de la construcción de las centrales nucleares de primera generación en el país, prestando apoyo técnico y político, consistente en generar la legislación y las regulaciones de seguridad necesarias para su puesta en marcha y funcionamiento. En la segunda y tercera generación de centrales nucleares el Estado sí tuvo participación en la propiedad y operación de las centrales, a través de la entonces estatal Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA).

En 1980 se crea el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), lo que implica el fin de la JEN y el disgregamiento de sus funciones. Cabe destacar que en estos años el país ya había realizado su transición hacia la democracia y contaba con

un Presidente del Gobierno democráticamente electo. Esta decisión estuvo fundamentada en la necesidad de separar las funciones de investigación y regulación, además de enfocar la investigación hacia nuevas fuentes de energía, como las renovables.

Desde el inicio del programa nuclear español se estudiaron alternativas para que el país pudiera autoabastecerse de uranio. En 1972 se crea la Empresa Nacional de Uranio, que centraliza toda la pequeña minería de uranio existente el país, dispersa entre la JEN y otros organismos. El Estado invita a las empresas operadoras y eléctricas del país a participar de un 40% de su propiedad, manteniendo de esta manera para sí el control ejecutivo. En 1973, producto de la crisis mundial del petróleo, el Gobierno español encomendó a ENUSA la tarea de gestionar el aprovisionamiento de uranio, su enriquecimiento y la fabricación del combustible nuclear para el consumo nacional. En 1981, se encarga a ENUSA la responsabilidad de elaborar un plan de desarrollo para la minería del uranio, luego conocido como PNEIU (Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio). La compañía siguió desarrollando sus actividades mineras hasta el año 2000, cuando la mina de Saelices el Chico (Salamanca) cerró definitivamente sus operaciones.

Es importante destacar que la posición del Gobierno español de fomentar y promover el desarrollo de la industria nuclear, sufre un profundo cambio desde 1983, cuando se envía al Congreso de los Diputados el Plan de Energético Nacional de 1983, luego llamado la “moratoria” nuclear. Éste, aprobado en julio del año siguiente, estipulaba la paralización de las obras de 5 de las 7 centrales nucleares en construcción en España y retiraba de forma definitiva los permisos de construcción y operación a las empresas operadoras. A cambio de ello, consideraba ciertas compensaciones económicas. Este plan se fundamentaba en la necesidad de desacelerar el crecimiento de la oferta energética y, más importante aún, hacer oficial el descontento popular y político (de la coalición de gobierno) ante la energía nuclear. El plan se llevó a cabo y la construcción de las centrales de Lemóniz I-II, Valdecaballeros I-II y Trillo II nunca fue finalizada.

Respecto de la gestión de los residuos nucleares, es el Estado quien tiene y ha tenido el rol principal. Entre los años 1975 y 1979, la JEN fue el organismo encargado de la gestión y almacenamiento de los residuos radiactivos y el combustible gastado. En 1979 estos roles se dividieron entre la misma JEN y ENUSA. En 1984 se crea la Empresa Nacional de Residuos (ENRESA), que asume toda la responsabilidad de la gestión y almacenamiento provisorio y definitivo de los residuos nucleares.

El Estado español participa activamente de la investigación y desarrollo de la tecnología nuclear, a través de ENUSA, ENRESA, CIEMAT y el Ministerio de Ciencias y Tecnología.

A.9.9 Rol de la industria privada en la energía nuclear

La industria privada no estuvo ligada a los inicios del desarrollo de la energía nuclear en España. Dado que el Gobierno Militar español mantuvo sus investigaciones y operaciones nucleares en reserva entre los años 1948 y 1951. En este último año, se crea la JEN y con ello se hace pública y abierta la investigación y el desarrollo de la tecnología nuclear. Desde ese momento, la industria privada comienza a jugar un rol clave, principalmente en el desarrollo de la infraestructura nuclear y su operación. Mientras el Estado tomó una posición de planificador, legislador y regulador de la industria núcleo-eléctrica, junto con hacerse cargo del ciclo del combustible nuclear y la gestión de los desechos radiactivos, la industria privada se enfocó en la construcción de las centrales nucleares y su operación.

En 1968, se inauguró la primera central nuclear española, José Cabrera, ubicada en Zorita de los Canes, propiedad de la compañía privada Unión Eléctrica Madrileña. Dos años más tarde, en 1970, se conectaba a la red la central nuclear de Santa María de Garoña, propiedad de NUCLENOR, en la provincia de Burgos. En 1972, se inaugura la tercera central nuclear del país, Vandellós I, propiedad de HIFRENSA, en la provincia de Tarragona. Estas tres plantas fueron llamadas la “primera generación” de centrales nucleares del país. Cabe destacar que aún estando el país bajo un Gobierno autoritario, con un Estado fuerte, el desarrollo inicial de la infraestructura nuclear del país fue desarrollado exclusivamente por la industria privada. Más tarde, en la segunda

y tercera generación de centrales la entonces compañía estatal ENDESA comenzó a participar de la industria. Aún más, a pesar de haber sido proyectos de tipo “llave en mano”, la industria manufacturera española proporcionó una parte importante de las piezas y equipos de las centrales, aunque no los componentes del reactor y de los sistemas de control. Este mecanismo de mercado en la construcción de las centrales núcleo-eléctricas se mantuvo hasta 1988, cuando se puso en operaciones la última de éstas.

En la actualidad, la propiedad de las centrales nucleares es privada y mayoritariamente española. Endesa S.A. e Iberdrola poseen la mayor parte de la capacidad instalada núcleo-eléctrica. Ambas participan de forma conjunta en la propiedad de Asociación Nuclear Ascó-Vandellòs, la mayor operadora del país que cubre un 40% de la capacidad, y en Centrales Nucleares Almaraz-Trillo, que representa un 39% del total. Iberdrola posee además el control total de la central nuclear de Cofrentes. La central de Santa María de Garoña es propiedad del grupo Nuclenor.

Endesa S.A. es hoy una empresa privada multinacional, con presencia en un gran número de países del mundo. Posee cerca de 22 millones de clientes, a través de sus filiales repartidas en Europa y Sudamérica. Su propiedad es hoy principalmente de la compañía italiana Enel (67%) y la española Acciona (25%). Iberdrola es también una multinacional con base en España, específicamente en Bilbao, dentro del País Vasco. Es el mayor productor de energía eléctrica mediante fuentes renovables del mundo, con cerca de 8.200 MWe de capacidad instalada proveniente de energía eólica. Su propiedad está fuertemente atomizada y es principalmente española.

El sector privado ha estado también involucrado en la investigación y desarrollo de la energía nuclear en España. En 1974 fue fundada la Sociedad Nuclear Española (SNE) como una organización privada sin fines de lucro, por ingenieros, científicos, médicos, estudiantes y otros interesados en el tema. Se ha mantenido hasta el día de hoy y es uno de los socios fundadores de la Sociedad Nuclear Europea. En 1980 fue fundada la Sociedad Española de Protección Radiológica, también por profesionales del sector privado, principalmente ingenieros y médicos. Su actividad principal es la

promoción científica y la divulgación de la protección radiológica. En 1962 se funda el Foro de la Industria Nuclear Española, una asociación de carácter civil que agrupa a las empresas españolas relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear. Su objetivo principal es velar por la integración y coordinación de sus intereses dentro de los más altos niveles de seguridad y fiabilidad en el funcionamiento de las centrales nucleares. También tiene como finalidad el acercar las actividades de la industria nuclear a la sociedad, y actuar como vocero del sector antes la opinión pública.

A.9.10 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear

España es uno de los países del mundo con la mayor participación de fuentes de energía renovable en la matriz de generación eléctrica. Para el año 2008 se espera que más de un 10% de la generación eléctrica total sea producida mediante energía eólica, y la capacidad eólica instalada muestra un crecimiento cercano al 25% anual. Las compañías eléctricas españolas como Endesa e Iberdrola han desarrollado una gran capacidad y eficiencia en el desarrollo de fuentes de energía renovables, que le permiten seguir desarrollando la industria en el futuro. España suscribió el Protocolo de Kyoto y participa del plan de reducción de emisiones contaminantes y gases invernadero de la Unión Europea. Para cumplir con las metas de emisiones propuestas, el Gobierno ha incentivado y subsidiado el desarrollo de las ERNC (Energías Renovables no Convencionales), con gran éxito. Dado la oposición popular existente en el país frente al uso de la energía nuclear, y a la orientación política de la coalición gobernante (centro-izquierda), el Gobierno español ha determinado que la industria nuclear nacional no debe seguir expandiéndose, sino que debe dejar espacio para que las ERNC cubran el crecimiento en la demanda en el mediano y largo plazo. Por esta razón, es altamente improbable que se realicen nuevas inversiones en infraestructura nuclear en el futuro cercano. Cabe destacar eso sí, que los efectos del calentamiento global, el reciente aumento del precio internacional del petróleo y la posibilidad de una escasez energética mundial, han generado un aumento de la opción favorable al uso de la energía nuclear en la Unión Europea. Países como Suecia, hace poco firmemente opositores del desarrollo nuclear, están reevaluando sus planes de desarrollo

energético futuro considerando nuevamente la opción atómica. En España aún no se registra un cambio de opinión brusco, pero no se puede descartar que no se produzca en el mediano plazo.

El consumo eléctrico anual per cápita de España es del orden de 5.600 kWh y ha crecido en los últimos años a tasas cercanas al 3% anual. El 1 de enero de 2003, tuvo lugar la completa liberalización del sector eléctrico. El nuevo sistema está basado en la competencia total entre las compañías eléctricas y en la posibilidad de los consumidores de elegir a qué proveedor comprar, con el objetivo de mejorar la calidad del servicio y la competitividad de los precios eléctricos. Este proceso no ha sido algo aislado, ya que desde hace varios años se venían desarrollando una serie de normas y medidas reguladoras tanto en el ámbito nacional como en el internacional. Esto, debido a que la aprobación de la Directiva Europea 96/92/CE sobre "Normas Comunes para el Mercado Interno de Electricidad" requería la adaptación de la legislación española. Todas estas medidas desembocaron en la Ley del Sector Eléctrico, y posteriormente, sentaron las bases de la plena liberalización del sector en España. En 1996, el MINER (Ministerio de Industria y Energía) y las empresas eléctricas integradas en UNESA (Asociación Española de Electricidad, S.A.) firmaron el Protocolo para el Establecimiento de una nueva Regulación del Sistema Eléctrico Nacional, en el que se establecieron las bases necesarias para controlar el mercado eléctrico mediante la liberalización del mercado y un alto grado de competitividad.

España es una especie de "isla energética" que está débilmente interconectada con sus países vecinos. Esto la aísla del gran mercado europeo, y además no cuenta con recursos naturales abundantes. Las importaciones energéticas alcanzan el 82% del consumo primario, por lo que resulta muy vulnerable ante las variaciones del mercado, tanto en los precios como en las posibles interrupciones ocasionadas por eventos imprevistos en los países productores, que generalmente no se destacan por su estabilidad.

En un sistema más bien aislado, como el español, es necesario un margen considerable de potencia que permita atender los períodos de alta demanda y las fallas

de suministro de las fuentes que dependen de factores impredecibles. Por ello, es muy importante disponer de centrales que aporten una gran cantidad de energía de forma confiable y estable, de manera de garantizar el suministro y estar disponibles siempre en los momentos de alta demanda. En ello las centrales nucleares juegan un rol clave. Por esta razón se explica que solo con un 8,5% de la potencia instalada total del país, produzcan aproximadamente el 18% de la electricidad. Debido a esta realidad, los expertos coinciden en que su papel es insustituible en el mix de fuentes energéticas que satisfacen el mercado español. Su papel se potencia aún más si se considera su importante aporte en la lucha contra el efecto invernadero y el cambio climático.

A.9.11 Recursos Humanos

La Empresa Nacional de Uranio (ENUSA) emplea a un total de 581 personas para realizar sus actividades, fuera de quienes trabajan para empresas subcontratistas y participan de sus operaciones. Entre ellos 187 poseen un título universitario profesional, 210 poseen algún grado académico técnico superior, 47 son titulados medios y 144 son obreros sin necesidad de títulos. ENRESA, la compañía estatal de gestión de residuos radiactivos, empleó en 2006 a 296 empleados de forma permanente, más un gran número de subcontratistas que participan principalmente de las labores logísticas y de transporte del material radiactivo. El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) poseía en 2004 una planta de personal de 1.169 empleados. El Consejo de Seguridad Nuclear, el principal organismo regulador de la industria nuclear del país, tiene a 461 trabajando permanentemente en sus instalaciones, además de los 8 directores superiores que forman el consejo y dirigen cada una de las áreas de trabajo.

La Asociación Nuclear Ascó-Vandellòs posee 800 empleados directos que participan de la operación de los reactores de Asco I, Asco II y Vandellòs II. Además de éstos, en las centrales trabajan 600 empleados contratistas adicionales, que dependiendo de las necesidades de trabajo, pueden llegar a los 1000. Esto suele ocurrir principalmente durante los períodos de recambio del combustible. La central nuclear de Santa María de Garoña posee un total de 713 empleados, de los cuales 281

pertenecen a la operadora Nuclenor y 432 a otras empresas. Además, trabajan de forma permanente 57 empleados contratistas.

A.9.12 Actitud del Público hacia la Energía Nuclear

Una encuesta realizada por el Instituto Elcano publicó en Julio del 2006 dejó en evidencia una clara división entre simpatizantes y opositores frente a la energía nuclear (55% y 41% respectivamente). Esta composición puede ser disgregada que la gente con educación en el tema (47% de ellos a favor) y gente de tendencia de derecha (55%), son más propensas a la oposición de la energía nuclear. En cuanto al sector opositor éstos son férreos en su opinión. Por su parte, el sector simpatizante considera la energía nuclear como una manera de disminuir la dependencia energética de España del petróleo e importaciones de gas.

Actualmente, se está dando un debate público acerca de la energía en España, ya que el consumo eléctrico aumenta a tasas anuales en torno al 5%. En este estado, la energía nuclear es considerada una opción al debate. Aquí, algunas organizaciones e investigadores de universidades están mostrando interés frente a la energía nuclear y hasta una inclinación a favor de ésta.

A.9.13 Referencias Bibliográficas e Internet

- Nuclear Legislation in OECD countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities: Spain. OECD, 2001.
- Convention on Nuclear Safety: Spain Third National Report. Consejo de Seguridad Nuclear, España, 2004.
- El Papel de la Energía Nuclear en Europa. World Energy Council, 2007.
- 2006, un año de Energía Nuclear: Resultados y Perspectivas Nucleares. Foro de la Industria Nuclear, España.
- Countrie Profile: Spain (2003), IAEA. (www.iaea.org)
- Countrie Profile: Spain, FORATOM (2008).
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España: www.mityc.es
- Consejo de Seguridad Nuclear: www.csn.es
- Fichas Divulgativas de Energía Nuclear, CSN, 2008.
- Nuclear Energy in Spain : WNA
- www.world-nuclear.org/info/inf85.html?terms=spain
- Nuclear Energy Agency Country Profiles – Spain
- www.nea.fr/html/general/profiles/spain.html
- www.nea.fr/html/general/profiles/spain-annex.html
- Empresa Nacional de Residuos – ENRESA
- www.enresa.es
- Empresa Nacional de Uranio – ENUSA
- www.enusa.es
- Manual de Energía Nuclear para Periodistas – Foro Nuclear y U. Salamanca
- www.foronuclear.org/pdf/manual_tecnologia_periodistas.pdf
- Industria Nuclear Española – Foro Nuclear
- www.foronuclear.org/pdf/ine_esp.pdf
- Resultados y Perspectivas Nucleares 2006 – Foro Nuclear
- www.foronuclear.org/pdf/Resultados_Perspectivas_Nucleares_2006.pdf
- Asociación Nuclear Ascó - Vandellòs II, A.I.E.

- www.anav.es
- Centrales Nucleares ALMARAZ-TRILLO
- www.cna.es
- Central Nuclear Santa Maria de Garoña – NUCLENOR
- www.nuclenor.org
- EURATOM Supply Agency – Annual Report 2007
- http://ec.europa.eu/euratom/anreport_en.html

A.10 Suecia

A.10.1 Contribución de la energía nuclear en la matriz energética

Estructura del Sistema Eléctrico

El consumo de energía eléctrica en Suecia ha estado en aumentos, llegando a tener uno de los mayores consumos per cápita a nivel mundial: cerca de 18000 kWh por persona. Cerca de la mitad de la producción doméstica de energía es nuclear y la otra hidráulica, cifras que dependen netamente de la estación en que se encuentre. En el año 2007, la energía nuclear produjo 64,3 TWh, cerca del 46% del total. Asimismo la producción de bioenergía es usada mayormente en la industria del papel. Las instalaciones de energía hidroeléctrica en Suecia es de 16192 MW (al 31/12/99) y en energía nuclear cerca de 9452 MW, a igual fecha. La Figura A.10.1 permite observar los principales ratios respecto a la situación sueca hasta el año 2002.

	1970	1980	1990	2000	2001	2002
Energy consumption per capita (GJ/capita)	232	230	247	238	260	262
Electricity per capita (kW.h/capita)	7,849	11,328	16,432	16,464	18,617	17,152
Electricity production/Energy production (%)	108	104	99	103	102	102
Nuclear/Total electricity (%)		28	45	38	43	41
Ratio of external dependency (%) (1)	73	61	35	37	33	32
Load factor of electricity plants						
- Total (%)	45	40	49	51	57	56
- Thermal	49	16	12	18	19	19
- Hydro	44	45	50	55	57	58
- Nuclear	64	66	74	66	84	79

(1) Net import / Total energy consumption.

Figura A.10.3: Métricas del Consumo Energético en Suecia. Fuente: IAEA, 2003.

Es importante destacar las reservas con que cuenta Suecia tanto a nivel hidro como nuclear (2003). La Figura 2 permite observar que este país cuenta con reservas propias de uranio (low grade), sin embargo, no existen incentivos económicos para explotarlos

por lo que no existe actualmente ninguna mina de Uranio en operación. De hecho, el combustible para las centrales nucleares es importado.

	Estimated energy reserves in (Exajoule)					
	Solid	Liquid	Gas	Uranium (1)	Hydro (2)	Total
Total amount in place	0.02			2.18	16.97	19.17

(1) This total represents essentially recoverable reserves.
(2) For comparison purposes a rough attempt is made to convert hydro capacity to energy by multiplying the gross theoretical annual capability (World Energy Council - 2002) by a factor of 10.

Figura A.10.4: Reservas Energéticas Suecia (2003) Fuente: IAEA, 2003.

La siguiente tabla permite observar las tendencias en el consumo energético, producción e importación neta según el tipo de fuente energético que corresponda. Tal como se anticipó las tasas de crecimiento para electricidad primaria están dada por la energía hidráulica, geotérmica, nuclear y aérea, las cuales han experimentado uno de los mayores crecimientos entre 1990 y el año 2002 (tasa promedio de 1.25% anual).

							Average annual growth rate (%)	
	1970	1980	1990	2000	2001	2002	1970 To 1990	1990 To 2002
Energy consumption								
- Total (1)	1.87	1.91	2.12	2.10	2.30	2.32	0.63	0.78
- Solids (2)	0.22	0.14	0.20	0.17	0.17	0.17	-0.55	-1.30
- Liquids	1.21	0.94	0.58	0.57	0.59	0.59	-3.61	0.19
- Gases			0.02	0.03	0.03	0.03		2.76
- Primary electricity (3)	0.44	0.83	1.32	1.33	1.52	1.53	5.63	1.25
Energy production								
- Total	0.54	0.89	1.42	1.36	1.53	1.53	4.94	0.60
- Solids	0.14	0.07	0.09	0.07	0.07	0.08	-2.26	-0.99
- Liquids								
- Gases								
- Primary electricity (3)	0.40	0.82	1.33	1.29	1.46	1.45	6.19	0.69
Net import (Import - Export)								
- Total	1.36	1.16	0.74	0.78	0.75	0.73	-2.95	-0.11
- Solids	0.07	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	1.60	-0.14
- Liquids	1.28	1.09	0.62	0.65	0.62	0.60	-3.57	-0.21
- Gases			0.02	0.03	0.03	0.03		2.16

(1) Energy consumption = Primary energy consumption + Net import (Import - Export) of secondary energy.

(2) Solid fuels include coal, lignite and commercial wood.

(3) Primary electricity = Hydro + Geothermal + Nuclear + Wind.

(*) Energy values are in Exajoule except where indicated.

Figura A.10.5: Estadísticas Suecia. Fuente: IAEA 2003.

Asimismo, se puede observar la creciente participación de la energía nuclear en la producción de electricidad. De hecho, el mayor crecimiento se obtuvo entre 1970 y 1990, con una tasa de crecimiento anual promedio para tal período de un 42.34%. Sin embargo para la década siguiente mostró un estancamiento dado las medidas políticas de la época, pero, manteniendo su participación en la industria eléctrica concentrando un 41,28% de la capacidad de generación eléctrica anual.

							Average annual growth rate (%)	
	1970	1980	1990	2000	2001	2002	1970 To 1990	1990 To 2002
Electricity production (TW.h)								
- Total (1)	60.65	96.32	146.45	145.00	162.13	161.63	4.51	0.83
- Thermal	19.05	10.96	8.11	10.77	11.03	11.34	-4.18	2.84
- Hydro	41.54	58.87	73.03	78.99	81.40	84.18	2.86	1.19
- Nuclear	0.06	26.49	65.30	54.80	69.20	65.57	42.34	0.03
- Geothermal								
Capacity of electrical plants (GWe)								
- Total	15.31	27.42	34.45	32.74	32.61	32.97	4.14	-0.36
- Thermal	4.44	7.95	7.82	6.73	6.55	6.79	2.88	-1.17
- Hydro	10.86	14.86	16.59	16.37	16.42	16.52	2.14	-0.04
- Nuclear	0.01	4.61	10.03	9.43	9.43	9.43	41.28	-0.51
- Geothermal								
- Wind			0.01	0.21	0.22	0.23		32.45

(1) Electricity losses are not deducted.

(*) Energy values are in Exajoule except where indicated.

Figura A.10.6: Producción Eléctrica y Capacidad Instalada Fuente: IAEA, 2003.

Hasta los años 60 en Suecia había un enfoque hacia desarrollar la generación hidroeléctrica con el objeto de sustentar la actividad económica e industrial de este país. Sin embargo, y dado la alta dependencia con el petróleo, en 1965 se decidió complementar la generación eléctrica con tecnología nuclear. Esta iniciativa fue aún más apoyada con los repuntes en el precio del crudo en los años 70.

Actualmente Suecia importa y exporta electricidad según sea necesario y dependiendo de la estación del año con países como Finlandia, Noruega y Dinamarca. En el año 2004 las exportaciones netas alcanzaron los 2 TWh y en el 2005 7,5 TWh.

Industria Eléctrica

Suecia es parte del mercado eléctrico inter-Nordic en conjunto con Finlandia, Noruega y Dinamarca. De hecho el precio de la electricidad en los países Nórdicos está determinado principalmente por la disponibilidad de la energía hidroeléctrica de Suecia y Noruega, de la energía nuclear de Suecia y Finlandia, además de los precios

internacionales. En materia de suministro eléctrico, Suecia está conectada con Noruega, Finlandia, Dinamarca, Alemania y Polonia, cuyo intercambio ha ido en aumento en los últimos años.

Las compañías responsables de el suministro eléctrico fueron conformadas cerca de 1880, donde el Gobierno y el sector privado han permanecido ligados ya sea para la producción como la transmisión de electricidad en Suecia. Por lo tanto, el esquema a nivel de producción se concentra por un lado por el Gobierno, a través del Swedish State Power Board (Vattenfall AB) y por otro por empresas de la industria, municipalidades y otros organismos no gubernamentales.

Sin embargo, en el año 1991 Suecia reestructuró su sistema eléctrico dada las condiciones del ambiente y la alta competencia en el sector. Por lo tanto, muchas de las empresas cambiaron sus propietarios terminando con una configuración de seis principales participantes en el sector. Por lo tanto, Swedish Vattenfall, Norwegian Statkraft, Finnish Fortum y German PreussenElektra y German E.ON conforman el mapa competitivo, los cuales han salido a invertir en países vecinos nuevas instalaciones para mantenerse en el mercado, así como también establecido alianzas y subsidios entre ellas. El Gobierno es dueño del 48% de las empresas generadoras de electricidad (sumando energía eólica e hidroeléctricas), un 20% por municipalidades, 27% privados extranjeros y un 7% restante por otros anexos.

La transmisión de energía eléctrica es entregada de forma interconectada y, en las cantidades expuestas en la siguiente tabla.

Producer	Generated output in 2001(TW·h)
Vattenfall	76.6
Sydkraft	32.7
Birka Energi	22.3
Fortum Kraft	7.3
Skellefteå Kraft	3.7
Graninge	3.6
Total	**146.2**

Figura A.10.7: Principales Productores Electricidad Suecia. Fuente: IAEA, 2003

Una aclaración importante es que para el año 2007, la empresa germana E.ON adquirió la mayoríade Sydkraft AB, pasando a llamarse E.ON Sverige AB. La parte restante de Sydkraft fue adquirida posteriormente por la empresa noruega Sydfkraft.

La matriz eléctrica se encuentra dividida en tres niveles: red de alto voltaje, redes a nivel regional y a nivel local. El utilitie Svenska Kraftnät es responsable de la de alto voltaje, la cual incluye las líneas de 220 y 400kV, además de ser el nodo de conexión con los países vecinos. Las redes regionales son de propiedad de grandes compañías de energía, las cuales manejan líneas de 130 a 40 kV. Por último, la red local son de propiedad y son operadas por alrededor de 200 compañías, las que manejan líneas de hasta 20 kV. Un dato importante es considerar que las redes locales están en constante disminución ya que existe una racionalización entre las compañías de transmisión.

La longitud total de las líneas de transmisión en Suecia es de 475.280 km y el número de clientes conectados a la red es 5.200.000 dando un valor de US$ 14 miles de millones.

En cuanto a la industria núcleo-eléctrica, la Figura 6 permite tener un esquema general de la estructura de éste en Suecia, actualizada para el año 2007.

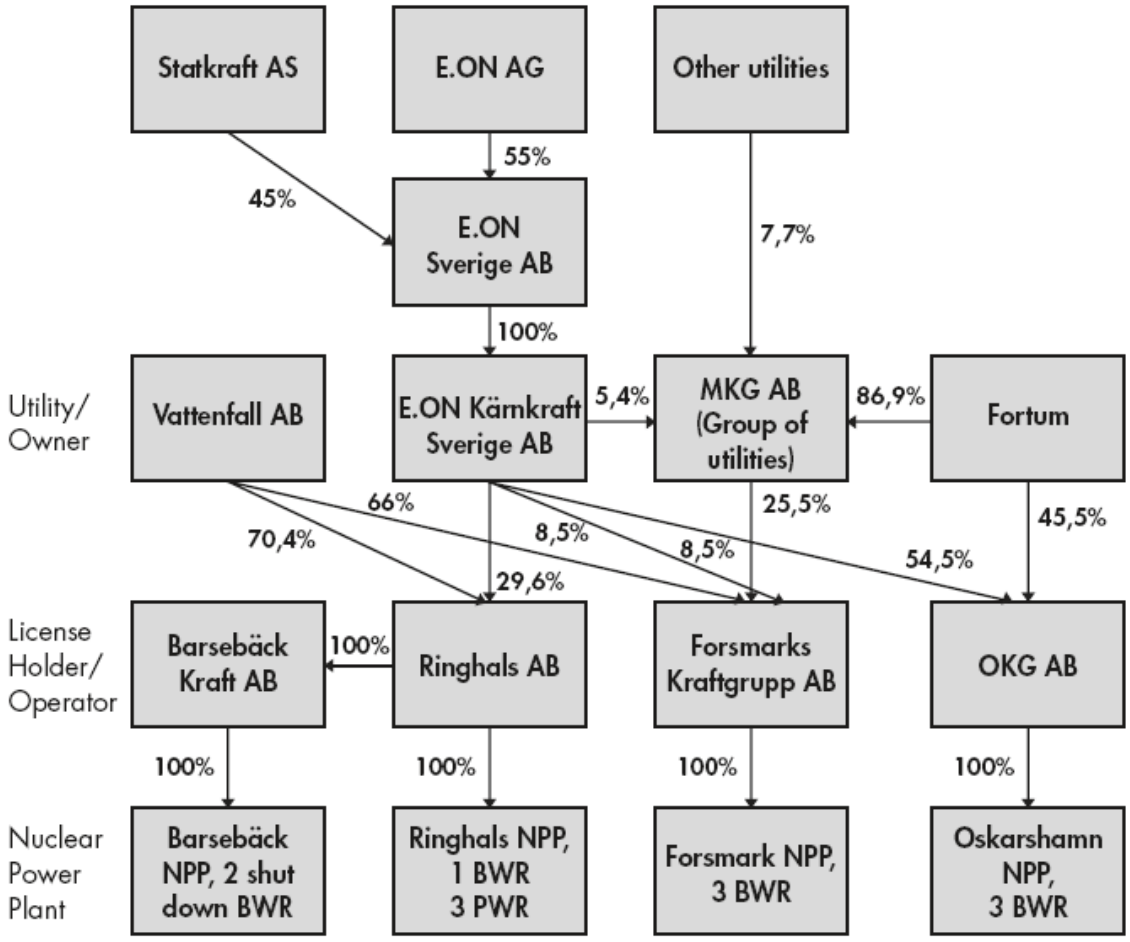


Figura A.10.8: Estructura del Sistema Nucleo-eléctrico en Suecia y relación de propiedad

Fuente: Convention on Nuclear Safety: Sweden fourth report, 2007

Por lo tanto, la red de distribuidores constituye un monopolio natural y su operación está supervisada por el Swedish National Energy Administration, el cual también entrega los permisos para la instalación de lineas de poder y concesiones correspondientes. Los consumidores finales tienen acceso al suministro eléctrico pagando un fee teniendo la opción de elegir un suministrador de electricidad. Por último, la generación de electricidad no se encuentra regulada por las leyes, y cualquier entidad puede ser un productor o suministrador en la industria.

A.10.2 Marco legal y regulatorio

Legalmente, en Suecia la responsabilidad en el manejo de las centrales nucleares recae sobre aquellos que adquirieron la licencia para el funcionamiento de una central nuclear. Por su parte, el SKI es la entidad encargada de supervisar sus operaciones. Es decir, el SKI es la entidad que debe asegurarse (haciendo un seguimiento continuo) que los responsables de operar las centrales lo hagan acorde a la legislación, tratados de no proliferación, entre otros aspectos relevantes.

Las principales leyes y regulaciones en torno a la energía nuclear en Suecia son las siguientes:

- Nuclear Power Decommissioning Act (Enero 1998)
- Act on Nuclear Activities (1984, actualizada en mayo del 2000). Ministerio de Medioambiente y SKI.
- Radiation Protection Act (1998). Ministerio de Medioambiente y SSI.
- Act on Financing of Future Expenses for Spent Fuel (1981, actualizada en 1986). Ministerio de Finanzas y Medioambiente, además del SKI.
- Nuclear Liability Act (1986, actualizado en 1995). Ministerio de Justicia y el Servicio de Supervisión de Aseguradoras Privadas.

Específicamente es importante destacar que el Acta de Actividades Nucleares establece claramente que las actividades nucleares deben ser llevadas a cabo bajo el modo de cumplir con las obligaciones suecas con el objeto de: prevenir explosiones nucleares; no proliferar armamento nuclear y tratos no autorizados con material nuclear. Esta acta dice expresamente que uno de los principales métodos para conseguir seguridad en las actividades nucleares es prevenir conductas en contra de la ley que involucren material nuclear (Sección 4).

Más específicamente, esta Acta entrega la obligación sobre aquellos que obtuvieron licencias para conducir actividades nucleares, de dar acceso a autoridades internacionales para revisar y vigilar las instalaciones nucleares. Es decir, dejar abiertas las instalaciones hacia estas autoridades como demostración de transparencia (Sección 17).

Estructura Institucional

La toma de decisiones en torno a la energía nuclear se realiza de forma colectiva con todo el Gobierno, a pesar de que la Constitución sueca dicte que las propuestas en materias del ministerio debe hacerlo exclusivamente cada Ministro.

En el ámbito nuclear, diversas instituciones se encargan de supervisar y regular las responsabilidades del campo. Como regla general, en Suecia, estas entidades cuentan de gran independencia dentro del amplio marco regulatorio dado por el Gobierno. A continuación se hace una breve reseña de las autoridades reguladoras y supervisoras en materia nuclear, en base a lo expuesto en el informe de legislación nuclear de países miembros de la OECD.

- *Ministerio de Medioambiente:* Se encarga de construir e implementar las legislaciones y el estado del financiamiento para la seguridad nuclear y protección radiológica, además de definir las responsabilidades nucleares.
- *Ministerio de la Industria y de Transacciones:* Responsable de las políticas en materia energética en general, así como también relativa a la energía nuclear.
- *Ministerio de Justicia:* Dibuja los límites legales en cuanto a responsabilidad civil y criminal que pueda incluirse en materia nuclear.
- *Ministerio de Asuntos Exteriores:* Construye e implementa legislaciones relativas a productos de uso dual.
- *Inspectorado de Energía Nuclear en Suecia (Swedish Nuclear Power Inspectorate, SKI)*: Las funciones de esta entidad están especificadas en la Ordenanza de Instrucciones sobre el SKI. Se encuentra subordinada al Ministerio de Medioambiente y es una autoridad señalada por el Gobierno como la encargada de ser el principal cuerpo regulador para la industria de energía nuclear en Suecia (bajo el Acta de Actividades Nucleares).

Las responsabilidades y tareas principales del SKI se concentran en hacer el seguimiento en campo de las actividades nucleares existentes, principalmente resguardando la seguridad de las instalaciones pertinentes. Además debe investigar

posibles problemas y en caso de ser necesario iniciar las medidas para incrementar la seguridad en las instalaciones nucleares.

También está a cargo de continuar los desarrollos con el objeto de poder manejar y disponer finalmente los desechos nucleares y combustible gastado, así como también cerrar y decomisionar las instalaciones que lo requieran (iniciar investigaciones, evaluaciones, etc.).

Por otra parte, tiene la responsabilidad de contribuir activamente en proveer información pública que indique los avances y esfuerzos que se llevan a cabo para aumentar la seguridad de las centrales nucleares, como también en el manejo de residuos (entre otros aspectos).

Debe a su vez controlar el material radiactivo que Suecia compra en el extranjero y vigilar que se cumplan los tratados internacionales o acuerdos que este país tiene con otros.

Es de su responsabilidad proveer información técnica a las autoridades con el objeto de proteger la sociedad en caso de cualquier desastre o suceso en las instalaciones nucleares. En este ámbito, debe generar reglamentaciones respecto a materia de seguridad, con lo cual se redacta finalmente el Código de Estatutos relativo a este tema.

El SKI está gobernado por una junta asignada por el Gobierno sueco en conjunto por miembros de diversas entidades tales como del Instituto de Radiación sueco, universidades, Corte Suprema y representantes del parlamento sueco. Cuenta con departamentos de: Seguridad del Reactor, Control de Material Nuclear, Seguridad de Desechos Nucleares, Investigación, Tecnologías de Información, Información, Administración y Personal. Al mismo tiempo, el SKI se apoya en tres “Comités de Aviso” que son los de Seguridad del Reactor, Salvaguardias e Investigación. El SKI es financiado con el pago de impuestos, los que se revisan anualmente.

El Instituto de Protección Radiológica en Suecia (Swedish Radiation Protection Institute, SSI): representa la autoridad central, bajo el alero del Ministerio de

Medioambiente que debe supervigilar los propósitos del Acta de Protección Radiológica de 1988. Es decir, es la principal autoridad de la protección frente a radiación ionizante y no ionizante, y las funciones que debe desempeñas están establecidas en la Ordenanza sobre Instrucciones para esta institución.

Por lo tanto, el SSI desempeña labores de regulación y supervisión en aspectos de seguridad radiológica tanto dentro como fuera de las centrales nucleares, hospitales, uso de rayos X, etc. También es la entidad central que debe coordinar y conducir la investigación en torno a la seguridad radiológica, tomando en cuenta legislaciones y compromisos internacionales en esta materia. Complementando lo anterior, el SSI debe dar a conocer y entregar la información al público respecto a esta materia.

En cuanto a su estructura, el SSI es gobernado similarmente que el SKI, y cuenta con tres departamentos principales: Exposición Médica y Ocupacional; Protección Ambiental y Manejo de Desechos Nucleares; y por último, Preparación en Caso de Emergencia y Asesoría Ambiental. El SSI se financia en una parte por impuestos y otra por aportes directos del Gobierno.10

Últimas actualizaciones dan cuenta que a mediados del 2008 el SKI se fusionó con el SSI conformando una entidad independiente, el SSM – Swedish Radiation Safety Authority – la cual está encargada ambas misiones, es decir, protección radiológica y seguridad nuclear.

A.10.3Tecnología: Especificaciones generales y proveedores

Suecia posee 10 reactores nucleares de potencia actualmente en operación, los cuales se encuentra ubicados en tres grandes centrales núcleo-eléctricas: Forsmark, Oskarshamn y Ringhals. Las dos primeras poseen reactores tipo BWR, mientras que la última está conformada por un reactor BWR y tres de diseño PWR. Todos los reactores BWR que posee el país son de fabricación nacional, y fueron diseñados y construidos

[10] Dado el poco tiempo de implementación, últimas actualizaciones dan cuenta que en julio del 2008 el SKI se fusionó con el SSI conformando una entidad independiente, el SSM – Swedish Radiation Safety Authority – la cual está encargada ambas misiones, es decir, protección radiológica y seguridad nuclear.

por el antiguo consorcio ASEATOM, hoy una filial de Westinghouse con el nombre de Westinghouse Electric Sweden. Los reactores PWR fueron fabricados por dicha empresa norteamericana en la década de los setentas. La razón principal para dotar a la central de Ringhals de dos tipos de reactor distintos, se encuentra en el interés del Estado sueco por hacer más diversa y competitiva la industria nuclear del país, además de incluir a un proveedor de tecnología extranjero. Esto, considerando que la industria estaba dominada exclusivamente por tecnología e ingeniería local, y que el diseño PWR, en esos años, ganaba prestigio a nivel mundial.

En Julio de 1965 fue fundada la compañía OKG, con el propósito de construir y operar la primera central nuclear comercial del país, en Oskarshamn. Al año siguiente fue encargada la construcción del reactor a la compañía sueca ASEA, de tipo BWR y de 445 KW de potencia eléctrica. El reactor alcanzó su primera criticalidad en Diciembre de 1970 y entró en operación comercial a comienzos del año 1972. Sólo tres años más tarde entraría en operación el segundo reactor, también de tipo BWR, construido por el consorcio ASEA Atom (para ese entonces de propiedad público-privada). Dicha unidad poseía una potencia de generación eléctrica de 605 MWe. Finalmente, en el año 1985 entró en operaciones el tercer y último reactor que compone hoy la central nuclear, también de tipo BWR, construido por ASEA Atom y con una potencia eléctrica de 1160 MWe. Hoy en día, luego de largos años de modernizaciones y mejoras, la planta cuenta con una potencia de generación eléctrica efectiva de 2.307 MWe, levemente superior a su diseño original de 2.210 MWe.

La central nuclear de Ringhals fue diseñada y construida por Vattenfall (en inglés, significa “waterfall”), la generadora eléctrica estatal que desarrolló la hidroelectricidad en el país. Su construcción comenzó en 1969 y su primer reactor, de tipo BWR, entró en operación comercial en 1973. La construcción de éste fue encargada a ASEA Atom y su potencia eléctrica original era de 830 MWe. Entre los años 1970 y 1973, Vattenfall encargó el diseño y construcción de tres reactores adicionales (las unidades 2, 3 y 4) para la central, ahora de tipo PWR, a Westinghouse Electric. El primero de ellos entró en operación comercial en 1975, el segundo en 1981 y el último en 1983. La unidad

número 2 poseía una potencia eléctrica de 870 MWe y los reactores número 3 y 4 de 915 MWe, cada uno. En la actualidad la central posee una potencia eléctrica efectiva de 3.675 MWe, 145 MWe mayor a su diseño original.

La estatal Vattenfall continuó desarrollando la industria nuclear en la década de los setentas, comenzando la construcción de una tercera central núcleo-eléctrica para el país, en Forsmark. La planta fue diseñada para contener tres unidades generadoras, cada una con un reactor BWR de potencia cercana a 1 GWe. La construcción de los tres reactores fue asignada a ASEA Atom y la primera unidad fue conectada a la red eléctrica en 1980, con una potencia de 968 MWe. En 1981 se le sumó la unidad número 2 con 964 MWe y en 1985 la unidad número 3 con 1.185 MWe de potencia generadora. Para el año 2008, la central cuenta con una potencia de generación eléctrica efectiva de 3.218 MWe, aproximadamente 100 MWe mayor que su diseño original.

ASEA, luego ASEA Atom, ABB Atom y actualmente Westinghouse Electric Sweden, ha diseñado y construido nueve reactores tipo BWR en Suecia y dos en Finlandia. La empresa llegó a tener un gran número de empleados y de capacidades internas, incluyendo el diseño y arquitectura de las centrales nucleares. Durante la década de 1980, dado el estancamiento de la industria y la falta de nuevas órdenes de pedido, la empresa abandonó muchas áreas de negocio y los operadores de las centrales asumieron parte importante de la mantención y mejoramiento de sus plantas. La vasija del reactor, el combustible, las barras de control y otros componentes del reactor eran fabricados directamente por ASEA Atom, mientras que los sistemas de control y muchos de los componentes eléctricos eran proveídos por empresas filiales de ASEA o de su matriz Brown Boveri, en Suiza. Las turbinas y los intercambiadores de calor eran fabricados por ASEA Stal y otras filiales. Fuera de los proyectos en los que realizó el diseño de ingeniería y la gestión del proyecto directamente Vattenfall, en el desarrollo de la infraestructura nuclear del país participaron grandes empresas suecas como: SWECO, NCC y SKANSKA.

Es importante señalar que el país posee tres reactores nucleares de potencia fuera de servicio. El primero en ser cerrado definitivamente fue el primero con que contó el país, que construyó Vattenfall, de forma experimental, para abastecer de 50 MW de potencia en forma de agua caliente para calefacción y 10 MWe a un suburbio de Estocolmo. Su cierre definitivo se llevó a cabo en Junio de 1974, por lo que alcanzó a estar en funcionamiento sólo 10 años. Su diseño era de tipo PHWR y fue diseñado y construido por ASEA. Los otros dos reactores fuera de servicio corresponden a las dos unidades generadoras de la central de Barseback, que fue cerrada paulatinamente entre los años 1999 y 2005. Ambos reactores son de tipo BWR, fabricados por ASEA Atom y de 600 MWe de potencia generadora cada uno. La central de Barseback entró en operación comercial en 1975 y su cierre anticipado se explica por la decisión del parlamento sueco en 1980 de detener el desarrollo de la industria nuclear y desarrollar un programa de cierre paulatino de las centrales, que hoy está en plena discusión.

A.10.4Seguridad de suministro de combustible nuclear

Las compañías operadoras de las centrales nucleares suecas importan todo el uranio que utilizan, principalmente desde Australia y Canadá. Los servicios de enriquecimiento también son realizados fuera del país, en función de las decisiones de cada operador. Westinghouse Electric Sweden (antiguamente ASEA Atom) fabrica combustible nuclear tanto para los reactores BWR como para los PWR existentes en el país. Además la compañía fabrica en Suecia combustible nuclear para reactores en el extranjero. Cabe destacar que no existe obligación de las operadoras de comprar el combustible de fabricación nacional, y algunas de ellas compran parte de éste a compañías ubicadas en otros países.

Producto de la gran importancia que tienen en el país los grupos de presión que están en contra del uso de la energía nuclear, han existido problemas con ciertos embarques de combustible nuclear y otras disputas asociadas a su traslado. Principalmente protestas aisladas y reclamos formales ante el Parlamento y los organismos radiológicos estatales. Cabe recordar que Suecia ha decidido, de forma institucional, dejar de utilizar la energía nuclear en el mediano plazo. Aunque ello sólo

se ha traducido en el cierre de la central de Barseback, y hoy es un tópico abierto a discusión, la industria nuclear del país debe moverse con gran cautela en sus operaciones, debido a la vigencia de leyes "anti-nucleares" que, a pesar de no cumplirse del todo, pueden significar el entrampamiento judicial de algunas decisiones. El tema del suministro de uranio y el enriquecimiento no ha generado problemas importantes, salvo restricciones a importaciones desde ciertos países de Asia Central.

A.10.5 Seguridad y Protección Nuclear

Asesoría y Verificación de Seguridad

En el cuarto reporte de Suecia a la Convención de Energía Nuclear (2007) se indican cuáles son los aspectos que los portadores de las licencias de las centrales nucleares realizan en orden de asegurar la seguridad de las plantas y para también cumplir con las obligaciones (en especial del SKI). En este sentido existen dos grandes medidas que toman: aseguramiento y verificación de la seguridad en las centrales nucleares. Ambas se explican de forma general a continuación.[11]

En cuanto al aseguramiento de seguridad los dueños de licencia utilizan:

- Reportes de Seguridad, que son documentos sobre medidas de seguridad y que finalmente debe aprobar el SKI. También deben actualizarse sobre los nuevos códigos y estándares de seguridad que se estén exigiendo en Suecia. Buscar asesoría para implementar los nuevos estamentos y requisitos. Finalmente, tomar las decisiones para aplicar requerimientos específicos para las instalaciones.
- Métodos probabilísticos para entregar estudios básicos de seguridad.
- *Periodic Safety Reviews* (PSR): por lo menos debe realizarse uno cada diez años. Debe incluir 15 áreas de seguridad, tal como lo establece el SKI (esta medida fue como consecuencia del accidente de Three Mile Island).
- Programas de Seguridad: dictada por regulación del SKI (SKIF2004:1), y considera prioridades y calendarios para la revisión de las instalaciones.

[11] Más detalle referirse al cuarto reporte de Suecia para la Convención de Energía Nuclear del año 2007.

- Mantención Preventiva: estas deben ser realizadas de forma predictiva, periódica y planificada.

La verificación de la seguridad se realiza a partir de:

- Vigilancia: establecen con qué frecuencia deben realizarse pruebas o tests que verifiquen que los componentes y sistemas estén operativos.
- Inspección in-service: implica realizar un control a nivel general, técnico, de calidad y en el mismo funcionamiento (establecido por el SKIFS2005:2).
- Mantención preventiva.
- Revisiones de Seguridad.
- Revisiones de Seguridad realizada por pares.

Protección Radiológica

En torno a la protección radiológica Suecia presentó en este mismo reporte de la Convención de Seguridad Nuclear, todos los aspectos que abarcan para salvaguardar la salud humana y del medioambiente. La principal regulación en este aspecto lo interpone el SSI en la regulación SSI FS 2000:12, la cual está activa desde inicios del 2002. Se aplica a las centrales nucleares, reactores de investigación, fábricas de elementos combustibles y en almacenamiento de desechos nucleares y combustibles gastados. Las principales indicaciones tienen relación con los límites de radiación (SSI FS 1998:4), donde el propietario de la licencia debe reportar anualmente que no se exceden las exposiciones de radiación, en especial a aquellos más expuestos (grupo crítico). Al mismo tiempo establece que se debe utilizar la mejor tecnología disponible para la protección. Finalmente, establece la obligatoriedad de realizar un monitoreo medioambiental (establecido por el SSI).

A continuación se presenta un listado más extenso con todas las medidas que se realizan y que se exigen en los lugares donde puede existir exposición a la radiación.

- Protección radiológica ocupacional: en este punto se establecen los límites de exposición permitidos. La tabla a continuación presenta esta información:

Effective dose	50 mSv
Equivalent dose to the lens of the eye	150 mSv
Equivalent dose to skin, hands and feet	500 mSv

Es importante agregar que en cinco años la dosis efectiva total no puede superar los 100 mSv.

- Exámenes regulares médicos: Cada año los empleados deben mostrar un certificado médico que le autorice continuar trabajando en las instalaciones nucleares.
- Supervisión y control de áreas con niveles de radiación mínimas establecidas.
- Información y educación respecto a protección radiológica para todos los trabajadores, contratistas, operadores, entre otros, que ingresen a la planta.
- Monitoreo de dosis en el personal: Cualquier persona que ingrese a un área de supervisión, deberá llevar consigo un monitor de radiación. En caso de que se especule contaminación, el individuo deberá ser sometido a un examen completo.
- Optimización respecto a la exposición permitida. Es decir, trabajar con niveles de irradiación dentro de los límites, optimizando la capacidad de exposición por persona.
- Establecimiento de instrucciones claras para la protección radiológica en las instalaciones
- Instrucciones y cuidado de los visitantes: no podrán ingresar menores de 14 años a las instalaciones.
- Instrumentos y equipos: debe existir un calibrado permanente de los instrumentos de medición de radiación y también de los equipos dentro de las instalaciones.
- Transporte dentro de las instalaciones de material radiactivo: debe existir un manejo del material radiactivo que permita cumplir con las dosis establecidas de radiación.
- Manejo o trabajo con elementos combustibles irradiados
- Establecimiento de políticas en caso de que se dañe el combustible

- Reportes periódicos al SSI
- Documentación y base de datos de las mediciones realizadas
- Existencia de un Administrador de Protección Radiológica en las instalaciones (aprobado por el SSI).
- Protección radiológica del medioambiente

Información adicional sobre el trabajo realizado por los propietarios de las licencias se encuentran disponibles en el documento referido inicialmente (Artículo 15.2).

Preparación en caso de Emergencia

La autoridad de seguridad radiológica sueca se encuentra en alerta 24 horas el día, todos los días del año, y es la encargada de entregar aviso e información en caso de que exista un evento o accidente que involucre radiación.

Por lo tanto, el sistema de preparación consiste de una red de autoridades en todos los niveles de la sociedad. Existen distintas áreas de responsabilidad y roles, los cuales deben coordinarse y cooperar con el fin de proteger a las personas y el medioambiente lo mejor posible, disminuyendo al máximo la exposición a radiación, en caso de emergencia. En caso de que esta entidad no pueda responder rápidamente frente a un accidente, y cumplir con los estatutos formales de la institución, cuenta con la plena capacidad de improvisar para minimizar los daños de la emergencia.

The Swedish Government and the Ministries

The Swedish Emergency Management Agency

- Co-ordinates emergency preparedness funding
- Co-ordinates national emergency preparedness work

CENTRAL LEVEL

Examples of central authorities which co-operate and advice within their area of competence:

- Swedish Meteorological and Hydrological Institute
  - o National contact point, relaying international alarms
  - o Performs weather forecasts, dispersion calculations
- Swedish Radiation Protection Authority
  - o Advises on radiation protection, supports the information work and coordinates the national measurement organisation
  - o Co-ordinates the advice of other central authorities (Swedish emergency response centre)
- Swedish Nuclear Power Inspectorate
  - o Advises on technology and supports the information work
  - o Estimates source terms and evaluates technical causes
- Swedish Board of Agriculture
- Swedish National Food Administration
- The National Board on Health and Welfare
- The Swedish Police Service
- The Swedish Coast Guard

The Rescue Services Agency

- Oversees the planning of the regional County Administrative Boards.
- Draws up and holds training and education courses

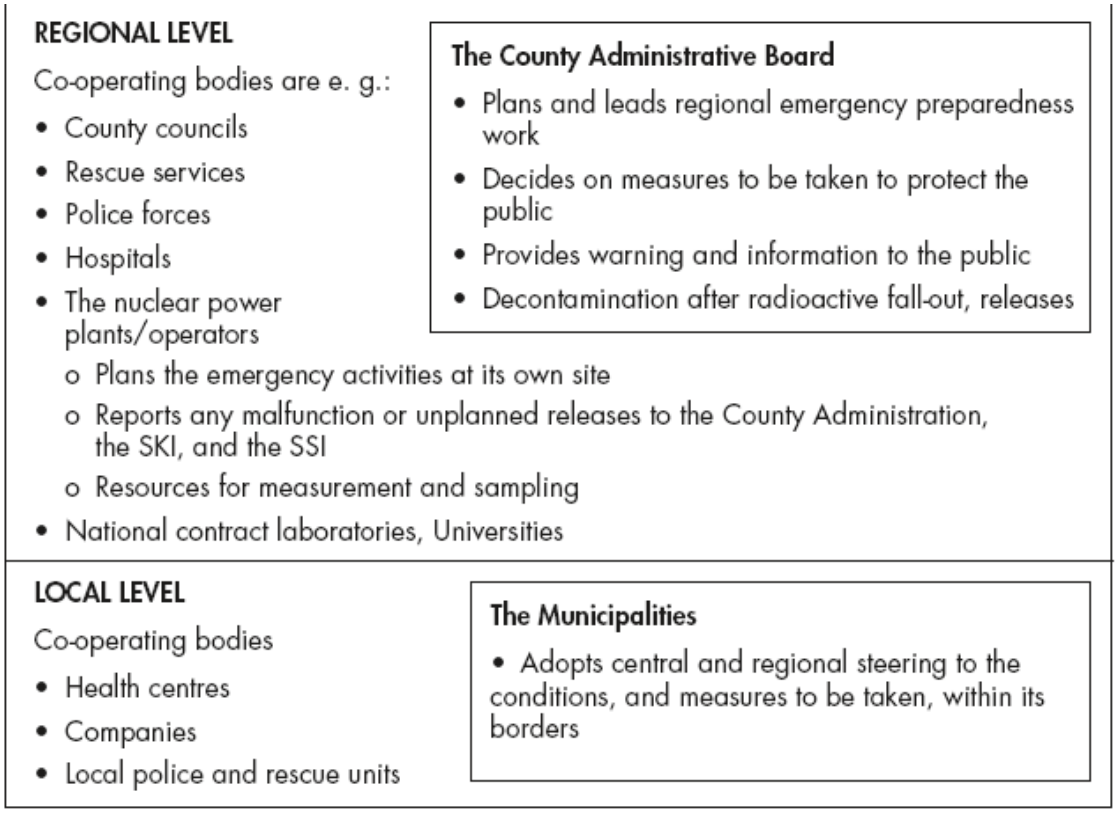


Figura A.10.9: Plano esquemático de planificación nacional para emergencia, Suecia
Fuente: Convention on Nuclear Safety: Sweden fourth report, 2007

La regulación del SKI (SKIFS 2004:1) establece los puntos a establecer en caso de emergencia. Los pasos a seguir por el propietario de la licencia son:

- clasificar el "evento" según la tabla de criterios establecidos
- alertar a la organización de emergencia correspondiente
- entregar asesoría sobre los riesgos y tamaño de las emanaciones posibles en una escala de tiempo y magnitud
- recobrar el estado de seguridad y estabilidad de las instalaciones.

Las regulaciones del SSI (Enero de 2006), tienen una perspectiva basada en la protección radiológica y se encuentra basada principalmente en los Estándares de Seguridad de la IAEA, GS-R-2-. En esta altura, el SKI con el SSI trabajan activamente en conjunto.

A.10.6 Manejo de Residuos Nucleares

El Acta de Actividades Nucleares define como desechos nucleares a las sustancias radiactivas creadas en plantas nucleares y las cuales no han sido producidas o removidas de las centrales para ser usadas en educación o investigación, o provienen de usos médicos, agricultura o propósitos comerciales. También es considerado como desecho nuclear cualquier material u otros ítems que han pertenecido a centrales nucleares, y que han sido contaminadas con radiactividad, y que no seguirán siendo usadas en las centrales. Por último, también lo son todas las partes de una planta nuclear que esté siendo decomisionada.

En cuanto al manejo de los residuos nucleares, se puede afirmar que es bastante organizado. El Svensk Karnbranslehantering AB (Swedish Nuclear Fuel anda Waste Management Co, SKB) fue creado en 1970 y trabaja en la planificación de cómo se debe manejar el combustible gastado en las centrales nucleares. El SKB es de propiedad de las cuatro compañías de energía (Vattenfall 36%; Forsmark Kraftgrupp 30%; OKG 22% y Barsebäck Kraft) y es la organización responsable de manejar y disponer los residuos nucleares. Asimismo, se encarga de conducir investigación intensiva y desarrollo (además de pruebas) para las empresas nucleares, con el objetivo de entregar soluciones en el manejo de residuos nucleares, ya sean de alto nivel o también en el decomisionamiento de las plantas o instalaciones nucleares en desuso.

El combustible gastado de todas las centrales nucleares suecas es transportado vía marítima una central de almacenamiento interina denominada CLAB. Estas instalaciones iniciaron sus operaciones en 1985, cuenta con una capacidad 8000 toneladas y están situadas cerca de la central nuclear de Oskarshamm. Aquí, el combustible gastado es almacenado bajo agua en una caverna bajo tierra (bajo roca) por aproximadamente 40 a 50 años. En ese punto, será encapsulado en cobre y acero inoxidable para ser dispuesto en yeso (bentonite clay) en un depósito ubicado a 500 metros bajo tierra. Hasta el año 2007, 4500 toneladas de combustible gastado se

almacenaba el CLAB. En caso de tratarse de residuos de bajo nivel, éstos son dispuestos en depositorios locales o también son incinerados en Studsvik.

Cualquier otro material de desecho de las operaciones de los reactores es transportado al SFR, de propiedad del SKB, que es el depósito subterráneo final de cualquier material de desecho operacional de las centrales nucleares, así como también de desechos hasta nivel intermedio (médicos, etc.). El SFR ha estado en operación desde 1988, cuenta con 63000 metros cúbicos de capacidad y recibe cerca de 1000 metros cúbicos al año de desechos. Se encuentra ubicado cerca de la central nuclear de Forsmark. Respecto a los desechos de decomisionamiento de las plantas, éstos son colocados en el SFR.

Los costos de manejo de residuos nucleares deben ser absorbidos por las compañías que los generan, por ejemplo, las centrales nucleares deben pagar a medida que vayan necesitando el servicio, el manejo de su combustible gastado (desechos). Además, las centrales deben pagar un impuesto designado por el Gobierno con el objeto de crear un fondo, administrado por el SKI, que servirá para cubrir los gastos en manejo de residuos nucleares y el futuro decomisionamiento. El SKB debe informar este precio, que en promedio corresponde a SEK 0,02/kWh (EUR 0,21 c/kWh).

La Figura A.10.8 presenta un mapa esquemático de las instalaciones con que cuenta Suecia actualmente en funcionamiento.

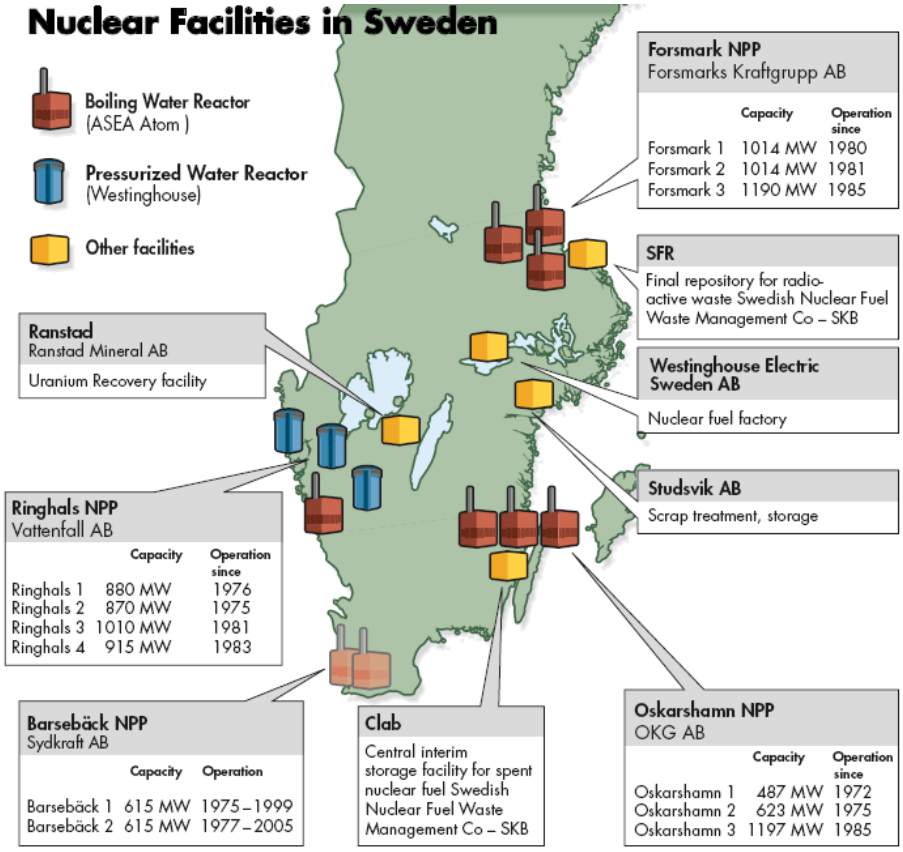


Figura A.10.10: Ubicación Centrales Nucleares y otras instalaciones en Suecia
Fuente: Convention on Nuclear Safety: Sweden fourth report 2007

A.10.7 Decomisionamiento de Centrales Nucleares

En primer lugar, se presenta una pequeña estadística en materia de decomisionamiento en Suecia:

- En las décadas de 1970 y 1980, se había realiza un decomisionamiento de pequeños reactores de investigación y laboratorios en Studsvik.
- El reactor R1 del Royal Institute of Technology de Estocolmo (1954-1970) fue decomisionado entre 1981 y 1983 y las instalaciones subterráneas estuvieron libres de uso en 1985. De hecho, el combustible y los desechos nucleares son almacenados hoy día en depósitos permanentes.

- El laboratorio de Studsvik fue descontaminado y una vez medido fue entregado para uso libre entre 1999 y el 2005. Finalmente demolieron las instalaciones.

Por lo tanto, en Suecia quedan operativos diez reactores de energía, y no se observa en el mediano o corto plazo desmantelar las instalaciones de fabricación de combustible ni de tratamiento de desechos nucleares.

En cuanto al decomisionamiento propiamente tal, el Acta de Actividad Nuclear establece que son los propietarios de las licencias de las centrales deberán desmantelar un reactor en desuso. Y, es el dueño de las licencias en cooperación con el gobierno y el fondo para manejo de residuos12, la manera de financiar y contribuir al decomisionamiento de las centrales. Sin embargo, los dueños no tienen la obligación de decomisionar sus instalaciones hasta que no existan lugares especializados para recibir material con baja y mediana radiactividad. De hecho, el SKB indica claramente que sólo existiría un depósito permanente para estos desechos y para los combustibles gastados a partir del 2020. En el caso de desechos con alto nivel de radiación, estas instalaciones estarán disponibles sólo a partir del 2045.

Es decir, a nivel legal, no existe un límite de tiempo para realizar el decomisionamiento, sino que más bien, sólo se entiende que no se harán estas acciones desde el momento en que se cuenten con las instalaciones específicas para ello. Por lo tanto, el SKI y el SSI deben ser las autoridades encargadas de resguardar la seguridad y la protección radiológica que sea necesaria; y deberán ser ellas que indiquen que una planta que fue apagada sea desmantelada, demolida y finalmente deje limpio el terreno que utilizó, en un periodo entre 5 y 15 años después de ser apagado, y, además de contar previamente con las instalaciones para dejar los desechos.

En Suecia existe un consenso y un entendimiento común respecto a la responsabilidad de las generaciones futuras en el financiamiento del decomisionamiento de las centrales nucleares. Al mismo tiempo, se indica que cerrar

[12] La base para el sistema de financiamiento es que los costos futuros debieran ser cubiertos con el pago de impuestos de las centrales para conformar el Nuclear Waste Fund.

una planta nuclear tendrá efectos no sólo a niveles medioambientales, sino también a niveles sociales, como por ejemplo en el nivel de empleos que es capaz de generar.

En conclusión, las acciones que establecen en Suecia para el desmantelamiento y decomisionamiento futuro de las plantas nucleares incluirán los siguientes aspectos:

- Tanto el operador o el Gobierno tiene la facultad de decidir la fecha de clausura final del reactor.
- Dado lo anterior, el SKI y el SII deberán realizar mayores tareas para incrementar la seguridad.
- Una vez que el reactor es finalmente apagado, todo el material combustible debe ser removido al CLAB, después de un año de enfriamiento previo. Comienza a esta altura una etapa de cuidados y mantención.
- El plan de D&D es actualizado y enviado para revisión al SKI y SII.
- Antes de comenzar con las tareas de decomisionamiento, se necesita un permiso de la Corte de Medioambiente local (acorde al Código Medioambiental).
- Una vez que todo el combustible o desecho haya sido removido del lugar, y el reporte de seguridad haya sido aprobado por el SKI, recién podrán comenzar labores de desmantelamiento.

A.10.8 Compromisos Nacionales e Internacionales

Suecia ratificó el Tratado sobre No Proliferación en Armas Nucleares en 1968, y la Convención sobre Protección Física de Material Nuclear en 1980, entre otros tratados y compromisos.

A continuación se presenta un listado de los tratados y acuerdos internacionales, multilaterales y bilaterales.

Acuerdos con la IAEA

• Amendments of Article VI & XIV.A of the IAEA statute	Ratified:	13 July 2001
• EURATOM/IAEA NPT related safeguards agreement INFCIRC/193	Entry into force:	1 June 1995
• Improved procedures for designation of safeguards inspectors	Following EU policy.	
• Additional Protocol (GOV/1998/28)	Signature:	22 September 1998
• EURATOM	(Ref. EU ongoing negotiations)	
• Agreement on privileges and immunities	Entry into force:	8 September 1961

Otros tratados internacionales relevantes

• NPT	Entry into force:	9 January 1970
• Convention on physical protection of nuclear material	Entry into force:	8 February 1987
• Convention on early notification of a nuclear accident	Entry into force:	30 March 1987
• Convention on assistance in the case of a nuclear accident or radiological emergency	Entry into force:	25 July 1992
• Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy (Paris Convention)	Entry into force:	1 April 1968
• Convention supplementary to the Paris Convention (Brussel Convention)	Entry into force:	1 April 1968
• Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention	Entry into force:	1 January 1992

• (Convention to amend the Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage is not a relevant treaty for Sweden for the reason that Sweden is a Party to the Paris Convention.)

• Convention on nuclear safety	Entry into force:	24 October 1996

• Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management	Entry into force:	18 June 2001
• ZANGGER Committee	Member	
• Nuclear Export Guidelines	Adopted	
• Acceptance of NUSS Codes	Summary: Codes well suited for national safety rules. Compatible with Swedish law and other rules.	12 June 1990
• Nuclear Suppliers Group	Member	
• EURATOM treaty	Member	

Acuerdos Multilaterales

- Exchange of ministerial notes between Sweden, Denmark, Finland and Norway about guiding principles for contacts about nuclear safety concerning nuclear plants at the borders between Denmark, Finland, Norway and Sweden. (SÖ 1977:48)

Acuerdos Bilaterales

- Agreement between the government of Sweden and the government of Switzerland for co-operation in the Peaceful uses of Atomic Energy. (SÖ 1969:1)
- Treaty with Finland about co-operation in the field of the peaceful use of atomic energy. (SÖ 1970:8)
- Agreement with the Soviet Union (now with Russia) about co-operation in the field of the peaceful use of atomic energy. (SÖ 1970:9)
- Agreement with Canada concerning the uses of nuclear material, equipment, plants and information transferred between Sweden and Canada. (SÖ 1981:89-90)
- Agreement with Australia on conditions and control for nuclear transfers for peaceful purposes between Australia and Sweden. (SÖ 1982:86-87)
- Exchange of notes with Finland in the field of nuclear power (SÖ 1983:1)
- Agreement with the United States of America about the peaceful use of nuclear power. (SÖ 1984:66)
- Treaty with Denmark about exchange of information about the Barsebäck Nuclear Power Plant. (SÖ 1986:15)
- Treaty with Denmark about exchange of information and notice about Swedish and Danish nuclear facilities etc. (SÖ 1987:12)
- Treaty with Finland about exchange of information and notice about Swedish and Finnish nuclear facilities etc. (SÖ 1987:16)
- Treaty with Norway about exchange of information and notice about Swedish and Norwegian nuclear facilities etc. (SÖ 1987:26)
- Treaty with the Soviet Union (now with Russia) about notice in the case of a nuclear power accident and about exchange of information about nuclear facilities. (SÖ 1988:5)
- Treaty with Germany about notice in the case of a nuclear power accident and about exchange of information about nuclear power facilities.

A.10.9 Rol del Gobierno en la energía nuclear

El Estado sueco ha estado presente en el desarrollo de la industria nuclear del país desde sus orígenes, luego del término de la Segunda Guerra Mundial. En 1947 fue fundada la compañía AB Atomenergi, con el fin de investigar y desarrollar tecnología nuclear. Originalmente su trabajo estuvo enfocado en pequeños reactores basados en uranio natural y agua pesada, pero en 1956 una comisión ad hoc propuso un programa

de investigación y desarrollo con el propósito de introducir un programa nacional de construcción de reactores nucleares para producir calefacción y electricidad. Considerando que en la época Suecia poseía una gran capacidad hidroeléctrica, y dependía sólo de forma marginal de la importación de combustibles para la generación eléctrica, el Gobierno se enfocó en desarrollar la núcleo-electricidad.

Dicha tecnología de generación les permitiría mantener su independencia energética y además explotar los yacimientos de uranio que hasta la fecha se habían descubierto en el país. En ello, la compañía generadora eléctrica estatal Vattenfall, comenzó a jugar un rol clave y en 1957 decidió unir fuerzas con AB Atomenergi para construir el primer reactor nuclear de potencia del país. Éste tendría una potencia de generación de calor de 55 MW para calefacción y 10 MWe de potencia eléctrica, y debía abastecer con ello a un suburbio de Estocolmo. El reactor entró en operación en 1964 y sirvió motor para el desarrollo de la industria nuclear. Ese mismo año, un consorcio privado recibió de ASEA una propuesta para la construcción de una gran central núcleo-eléctrica en Oskarshamn. Dos años más tarde comenzó la construcción del proyecto.

En 1968 el Gobierno sueco decidió la formación de un consorcio público-privado para la fabricación de la tecnología nuclear del país. Ello significó la fundación de una nueva compañía, ASEA Atom, donde el Estado y ASEA poseían partes iguales de la propiedad. Con ello, el Gobierno quería dar un impulso al desarrollo de la tecnología nuclear nacional y participar activamente del desarrollo de la industria. Ese mismo año, Vattenfall encargó al consorcio un reactor BWR para la unidad número 1 de la central de Ringhals, y a Westinghouse un diseño PWR para la unidad número 2. El objetivo de esta maniobra era seguir incentivando el desarrollo y la competitividad en la industria. Luego, a comienzos de la década de los setenta, Vattenfall comenzó a cooperar con algunas compañías eléctricas privadas para construir la central de Forsmark, que entró en operaciones a finales de 1980.

En 1976 una nueva coalición de gobierno asumió el poder, dominada por el Partido de Centro, abiertamente crítico de la energía nuclear. Ello marcó un cambio profundo

en el rol del Gobierno en la industria. Se promulgó en el Parlamento la "Ley de Estipulación", que implicaba el congelamiento de la carga de combustible nuclear a los reactores, hasta demostrarse que fuese posible almacenar de forma segura y definitiva los desechos radiactivos. El gobierno aceptó recién los informes presentados a fines de 1978, luego de salir el Partido de Centro de la coalición gobernante. Se permitió la recarga de combustible, y al poco tiempo sucedió el accidente de Three Mile Island. Luego de éste, la controversia nuclear en el país se complicó aún más, y todos los partidos políticos acordaron la realización de un plebiscito acerca del futuro de la energía nuclear. El referendo se realizó en 1980, pero no consideró la opción de estar a favor de la tecnología nuclear, sino que tres alternativas (desde la más radical a la más moderada) de rechazar la núcleo-electricidad para el futuro; finalmente ganó la opción intermedia. El Gobierno firmó un compromiso para la investigación y desarrollo de energías alternativas y para el cierre definitivo de las centrales nucleares antes de 2010.

Los planes de eliminación de la energía nuclear toparon con grandes obstáculos técnicos, estratégicos y financieros, y debieron postergarse por largos años hasta que en 1999 se decretó el cierre de la unidad número 1 de la central de Barseback y en 2005 el de la planta completa. En la actualidad el plan de cierre y decomisamiento está detenido y existe un gran debate técnico y político acerca del futuro de la energía nuclear. Ello ha sido sin duda producto del complicado escenario energético mundial actual y del triunfo de la coalición de centro-derecha en las elecciones de 2006, que hoy gobierna el país.

El Estado sueco es propietario mayoritario, a través de Vattenfall, de dos de las centrales nucleares: Ringhals (70,4%) y Forsmarks (66%). Producto de la oposición al desarrollo de la energía nuclear desde mediados de los años setenta, el Gobierno vendió su participación en empresas de investigación y desarrollo de tecnología nuclear y hoy son mayoritariamente privadas (Studsvik). Desde el año 2006 fue levantada la prohibición al desarrollo de nueva tecnología nuclear y el Estado invirtió cerca de US$

10,5 MM en I&D durante 2007. Además participa indirectamente de I&D en núcleo-electricidad a través de las universidades y centros de investigación estatales.

A.10.10 Rol de la industria privada en la energía nuclear

La industria privada, tal como el Estado sueco, ha formado y sigue formando parte fundamental del sector núcleo-eléctrico del país. Su participación comenzó en 1955 con la formación del Atomkraftkonsortiet (Consorcio de Energía Atómica) por parte de siete empresas de servicio e ingeniería privadas, lideradas por Sydkarft. El AKK derivó finalmente en la compañía OKG AB, la cuál construyó la central de Oskarshamn y la opera hasta el día de hoy; aunque evidentemente su estructura de propiedad ha cambiado. Por otra parte ASEA, una compañía electrotécnica con una gran trayectoria en Suecia y Escandinavia, que se remonta a 1883, tuvo una participación trascendental en el desarrollo de la energía nuclear. Fue la encargada del diseño y construcción de los primeros 2 reactores nucleares con que contó el país, además que una filial suya construyó 8 de los 11 restantes reactores nucleares de potencia presentes en el país. ASEA Atom ha participado activamente en el mantenimiento de las instalaciones nucleares y el suministro de combustible hasta el día de hoy. La empresa, desde su primera incursión en la industria nuclear, formó, en sociedad con el Estado, una filial enfocada a la fabricación de tecnología nuclear: ASEA Atom. La sociedad con el Estado se mantuvo hasta 1982, cuando ASEA compró la porción estatal y se hizo de su propiedad completa. En 1988 ASEA se fusionó con la compañía suiza Brown Boveri, para formar el consorcio ABB (ASEA Brown Boveri). La filial pasó a llamarse entonces ABB Atom. Para principios de la década de los noventa, la compañía contaba con más de 1.000 empleados. En el año 2000 ABB decidió la venta de ABB Atom a British Nuclear Fuel, por lo que pasó a formar parte de Westinghouse Electric Company. Poco tiempo después pasó a llamarse Westinghouse Electric Sweden, situación que se mantiene hasta el día de hoy.

Westinghouse Electric Sweden (antes ASEA Atom y ABB Atom) es el único proveedor de combustible nuclear que existe en el país y fabrica los elementos combustibles utilizando uranio importado y enriquecido en el extranjero. La planta de

combustible nuclear está ubicada en Vasteras, y produce anualmente 400 Ton de UO2. Además, la empresa posee una división de "servicios nucleares" que entrega servicios de mantención, mejoramiento y automatización a las centrales nucleares del país. Cabe recordar que la empresa (ASEA Atom) diseñó y construyó de forma autónoma los BWR existentes en el país, y Westinghouse los PWR restantes, por que posee hoy gran conocimiento y experiencia en el rubro.

Studsvik AB, originalmente una compañía estatal orientada a la investigación y el desarrollo de la ingeniería nuclear, es hoy una empresa privada internacional líder en el sector de I&D núcleo-eléctrico. Hoy posee 1.300 empleados y posee oficinas y laboratorios en Suecia, el Reino Unido, Alemania y EE.UU. La empresa ofrece servicios técnicos avanzados para la industria nuclear global, en las áreas de tratamiento de residuos, decomisionamiento, ingeniería nuclear y eficiencia operacional. Su enfoque principal está en el tema de tratamiento de residuos y decomisionamiento, dónde ha hecho grandes inversiones en I&D y cuenta con gran experiencia. Dichas áreas representan hoy el 66% de los ingresos de la compañía.

Como fue señalado anteriormente, el sector privado es propietario exclusivo de la central de Oskarshamn y posee una participación minoritaria en las dos centrales restantes. Un 29,6% de la propiedad de la central de Ringhals está en manos de E.ON Sverige (de capitales alemanes), como también un 8,5% de Forsmarks y un 54,5% de Oskarshamn. MKG AB, un consorcio de servicios públicos privado, posee 25,5% de la propiedad de la central de Forsmark. Finalmente Fortum, de capitales finlandeses, es propietaria del 45,5% restante de OKG AB (operadora de Oskashamn). En resumen, el sector privado es propietario de un 54,5% de las compañías operadoras de las centrales nucleares suecas.

Suecia posee un avanzado programa de gestión y depósito de desechos radiactivos, principalmente herencia del escepticismo y rechazo a la energía nuclear en los años setenta y ochenta. Existe una institución única de gestión de combustible nuclear y desechos radiactivos, llamada SKB. Dicha compañía es propiedad de las tres operadoras nucleares activas, y es la única responsable de la gestión y depósito de

desechos radiactivos en el país. La compañía posee un barco especialmente dedicado a la distribución del combustible nuclear a las centrales y a la recolección del combustible gastado. SKB es propietaria del depósito subterráneo definitivo de desechos de nivel operacional e intermedio (SKF), que opera desde 1988. Además controla el CLAB, el depósito central para el almacenamiento de combustible nuclear gastado de todos los reactores del país. Según la legislación sueca, los operadores de las centrales nucleares, ya sean de propiedad estatal o privada, son los responsables de la gestión, tratamiento y depósito de los desechos nucleares generados por sus operaciones. Por ello, además de ser propietarios de SKB, deben pagar una tarifa de "limpieza" por kWh a un fondo estatal, administrado por el organismo de regulación nuclear sueco SKI (Inspección de Energía Nuclear Sueca, en español). El valor promedio de la tarifa ha sido de €0,21/kWh, durante los últimos años.

A.10.11 Consideraciones económicas acerca de la energía nuclear

El consumo per cápita de electricidad en Suecia es uno de los más altos del mundo, y asciende a 18.400 kWh al año. El país produce cerca de la mitad de su energía eléctrica mediante hidroelectricidad (47%), una proporción similar utilizando energía nuclear (48%) y solo una pequeña fracción proveniente de combustibles fósiles.

En un principio, la industria eléctrica sueca estuvo dominada por el desarrollo hidroeléctrico, razón por la cual el consorcio eléctrico estatal recibe el nombre de Vattenfall, que en español significa cascada o caída de agua (similar a la palabra inglesa waterfall). A medida que los recursos hidroeléctricos se fueron agotando, la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles comenzó a satisfacer el crecimiento en la demanda eléctrica. En la década de los sesenta, se decidió complementar la estrategia enfocada en la hidroelectricidad con el desarrollo de la energía nuclear. Ello permitiría reducir los efectos asociados a las fluctuaciones en el precio del petróleo y aumentar la seguridad, estabilidad e independencia energética del país. Todo esto, considerando que el consumo eléctrico aumentaba a una tasa del 7% anual, en esos años. Luego del accidente de Three Mile Island en EE.UU., los principales partidos políticos suecos cambiaron su postura de promoción al desarrollo

de la energía nuclear, por una orientada a su estancamiento y paulatina eliminación. Producto de esta "desconfianza" del Gobierno hacia la energía nuclear y a la extensa y detallada legislación y regulación a que fue sometida la industria nuclear, Suecia fue un país pionero en la gestión y almacenamiento de combustible nuclear gastado y desechos nucleares.

La política gubernamental de abandono y eliminación de la energía nuclear provocó el cierre parcial de la central nuclear de Barseback en 1999 y posteriormente su cierre definitivo en 2005. Ello trajo enormes costos económicos asociados, tanto producto de la compensación económica que el Estado debió pagar a la operadora privada de la central, como por el uso de fuentes energéticas más caras. También implicó un aumento en las importaciones de electricidad, reduciendo la independencia energética del país, provenientes principalmente desde Alemania, Finlandia y Rusia. En el corto plazo dicha capacidad generadora debió ser reemplazada por plantas termoeléctricas, con el consiguiente costo ambiental asociado. En el mediano plazo se espera sea satisfecha con la mejora y ampliación de las centrales nucleares operativas y el uso creciente de fuentes de energía renovables.

El alto precio del petróleo en los últimos años, sumado a la evidencia asociada al calentamiento global, han generado que la opinión pública se muestre muy favorable al uso de la energía nuclear en el país. La nueva coalición de gobierno (centro-derecha), que asumió el poder en 2006, se ha mostrado abiertamente favorable al uso de la núcleo-electricidad y a su desarrollo futuro. Ello la sitúa más cerca de la opinión popular que su predecesora de centro-izquierda y entrega seguridad al sector eléctrico sueco y a los consumidores. Los ciudadanos suecos han sido profundamente críticos de los altos costos que ha tenido el programa de clausura anticipada de las centrales nucleares, además de las ineficiencias asociadas a la no utilización de una infraestructura nuclear que aún no ha cumplido su mínima vida útil, y que presenta bajos costos de operación.

A.10.12 Requerimientos de Recursos Humanos

La compañía de gestión de combustible nuclear y desechos radiactivos, SKB, emplea a cerca de 330 personas de forma directa, y a más de 500 incluyendo asesores externos y expertos. La Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica, recién creada en Julio de 2008 mediante la fusión del SKI (Inspección de Energía Nuclear Sueca) y el SSI (Instituto Nacional de Protección Radiológica), cuenta con una fuerza de trabajo de 250 profesionales, entre los que se incluyen: técnicos, ingenieros, médicos, biólogos, sociólogos, químicos y abogados. Esto, sin incluir a los empleados del cuerpo de soporte.

Studsvik AB, compañía líder en I&D de tecnología nuclear en Suecia, cuenta con una planta de 1.300 empleados distribuidos en siete países. La cerrada central nuclear de Barseback poseía, antes de 2005 cuando se apagó su segunda y última unidad operativa, un total de 348 empleados. Hoy, la planta sigue en pie y se espera que no sea desmantelada hasta 2020, por lo que aún cuenta con 110 empleados encargados del monitoreo radiológico, la seguridad y el mantenimiento de los equipos y estructuras.

En la central nuclear de Oskarshamn trabajan aproximadamente 950 personas, según la información para el año 2008 (información obtenida por mail desde OKG). La central nuclear de Forsmark posee aproximadamente 860 empleados de tiempo completo, sin considerar los contratistas que participan del proceso de recarga de combustible y en obras de mejoramiento. Por último, la central nuclear de Ringhals posee una cantidad aproximada de empleados que asciende a 1430 personas, las cuales pertenecen tanto a la compañía operadora, como a contratistas externos.

A.10.13 Actitudes hacia la Energía Nuclear: Opinión Pública y Oposición[13]

La opinión pública siempre ha favorecido a la energía nuclear en Suecia. En abril del 2004, el 77% de la ciudadanía dio una prioridad alta a materia medioambiental específicamente a la restricción en la emisión de gases invernaderos. Un 13% dio

[13] Datos de encuestas analizados en documento de perfil de Suecia en www.world-nuclear.org (29 septiembre de 2008).

prioridad a cuidar de los ríos descuidados por la energía hidroeléctrica y sólo un 7% dictó lo mismo respecto a las centrales nucleares.

En cuanto a materia nuclear sólo el 17% apoyaba una etapa de retirada de la energía nuclear, 27% apoyaba que continuaran funcionando las centrales existentes, 32% favorecía el punto anterior además del reemplazo de aquellas que lo requirieran y un 21% esperaban un desarrollo futuro de la energía nuclear sueca. Por lo tanto, un 80% estaba a favor de mantener o incrementar la energía nuclear en Suecia, a pesar de que el Gobierno trataba de iniciar negociaciones para la etapa de energía nuclear. Más aún, en marzo del 2005, este porcentaje aumentó a un 83%.

En conclusión, los resultados en esta materia varían según las preguntas que se han ido realizados, sin embargo, siempre se ha llegado a una mayoritaria aceptación en el uso de energía nuclear (79% en el 2006 según otros estudios). En junio del 2008, un 82% aceptaba la energía nuclear bajo dos escenarios: un 40% se mostraban a favor de expandir la capacidad de generación de las centrales nucleares, y un 42% estaba a favor de continuar con las centrales actuales y no construir más en el futuro. Asimismo, personas asesoradas personalmente (18%) dijeron en noviembre del 2007 que se habían mostrado positivos respecto a la energía nuclear, mientras que un 8% eran más negativos. Estos datos pueden ser correlacionados a que un 14% de ellos pensaban que la energía nuclear era una fuente de CO2 importante y con alto impacto en el medioambiente.

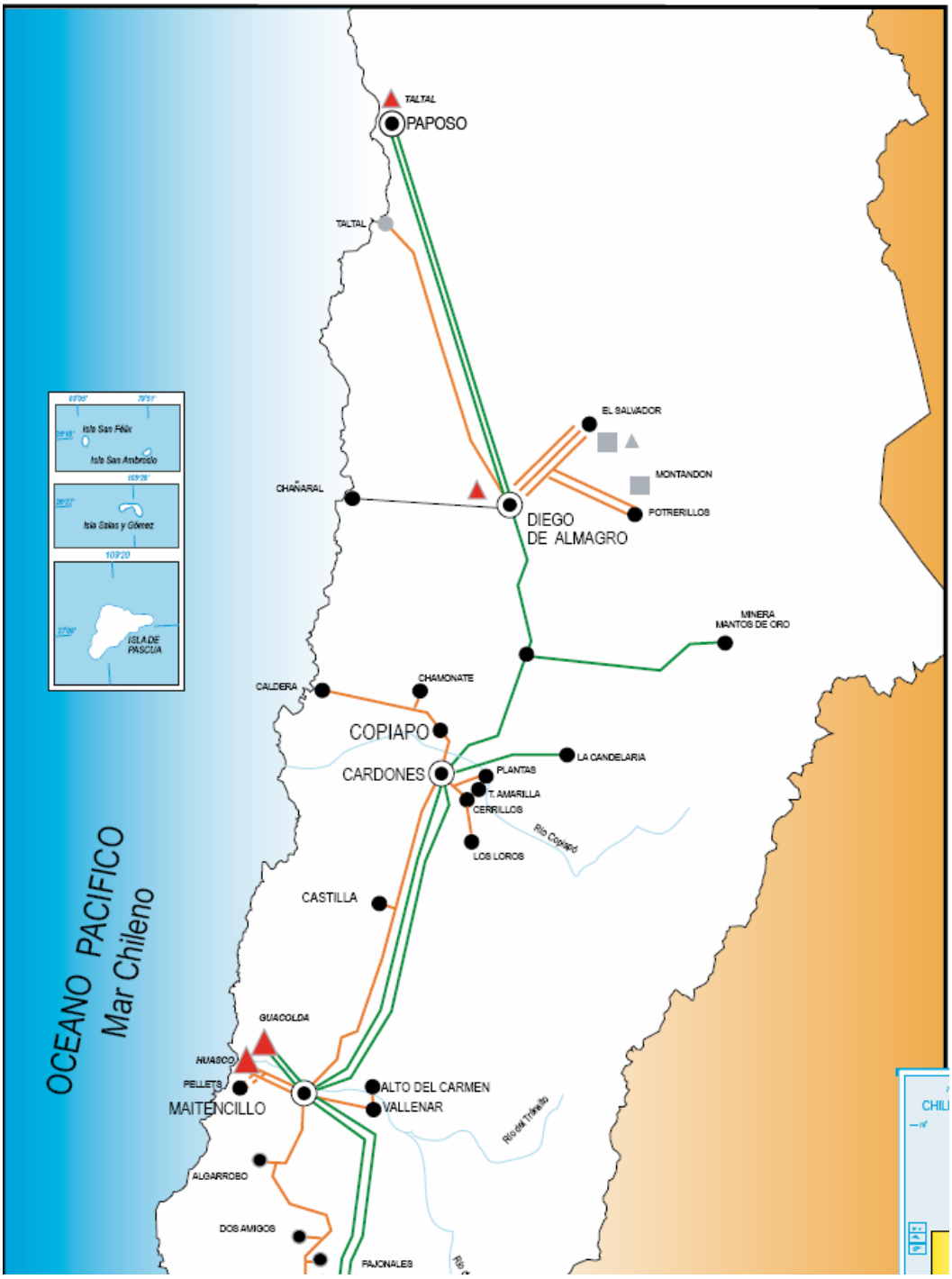
A.10.14 Referencias Bibliográficas e Internet

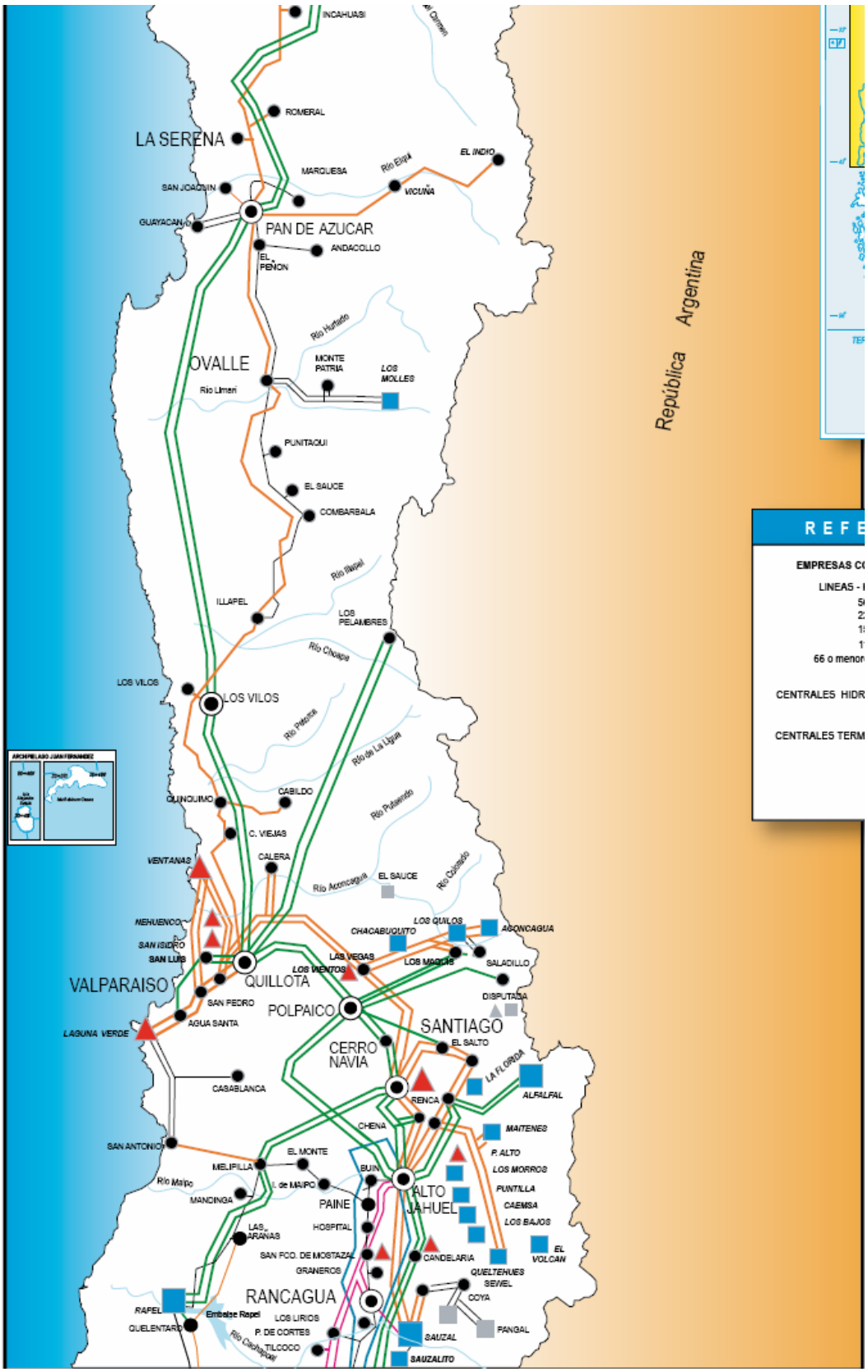
- Nuclear Legislation in OECD countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities: Sweden. OECD, 2003.
- Swedens´ fourth nacional report under the Convention on Nuclear Safety: Swedish implementation of the obligations of the Convention. Ministery of the Enviroment, Sweden, 2007.
- Nuclear Power in Sweden: www.world-nuclear.org/info/inf42.html
- Country Profile: Sweden (2003) www.iaea.org
- Country Profile: Sweden, FORATOM (2007).
- Decomisionamiento en Suecia: www.nea.fr/rwm/wpdd/sweden.pdf
- www.stralsakerhetsmyndigheten.se
- Nuclear Energy in Sweden : WNA
- www.world-nuclear.org/info/inf42.html
- Nuclear Energy Agency Country Profiles – Sweden
- www.nea.fr/html/general/profiles/sweden.html
- www.nea.fr/html/general/profiles/sweden-annex.html
- IAEA Country Nuclear Power Profile of Sweden
- http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/cnpp2003/CNPP_Webpage/countryprofiles/Sweden/Sweden2003.htm
- Westinghouse Sweden
- http://www.westinghousenuclear.com/Businesses/Nuclear_Fuel/w_sweden_history.shtm
- History of nuclear power in Sweden
- www.scielo.br/cgi-bin/fbpe/fbtext?pid=S0103-40142007000100018
- Vattenfall
- http://www.vattenfall.com/
- Ringhals AB
- http://www.ringhals.se/

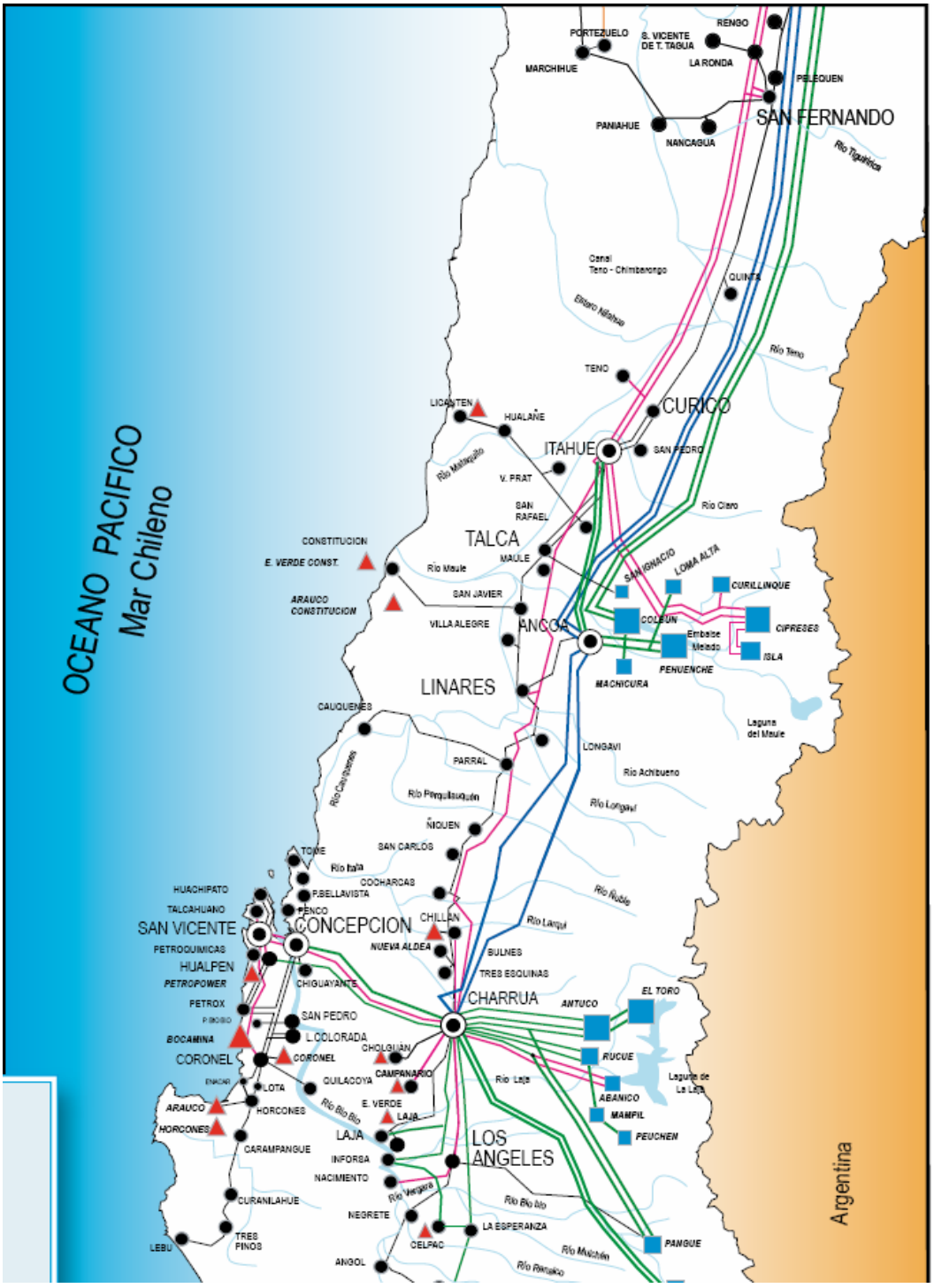
- OKG AB
- http://www.okg.se/
- Forsmark Kraftgrupp AB
- http://www.forsmark.com/
- Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB)
- http://www.skb.se/
- EURATOM Supply Agency – Annual Report 2007
- http://ec.europa.eu/euratom/anreport_en.html

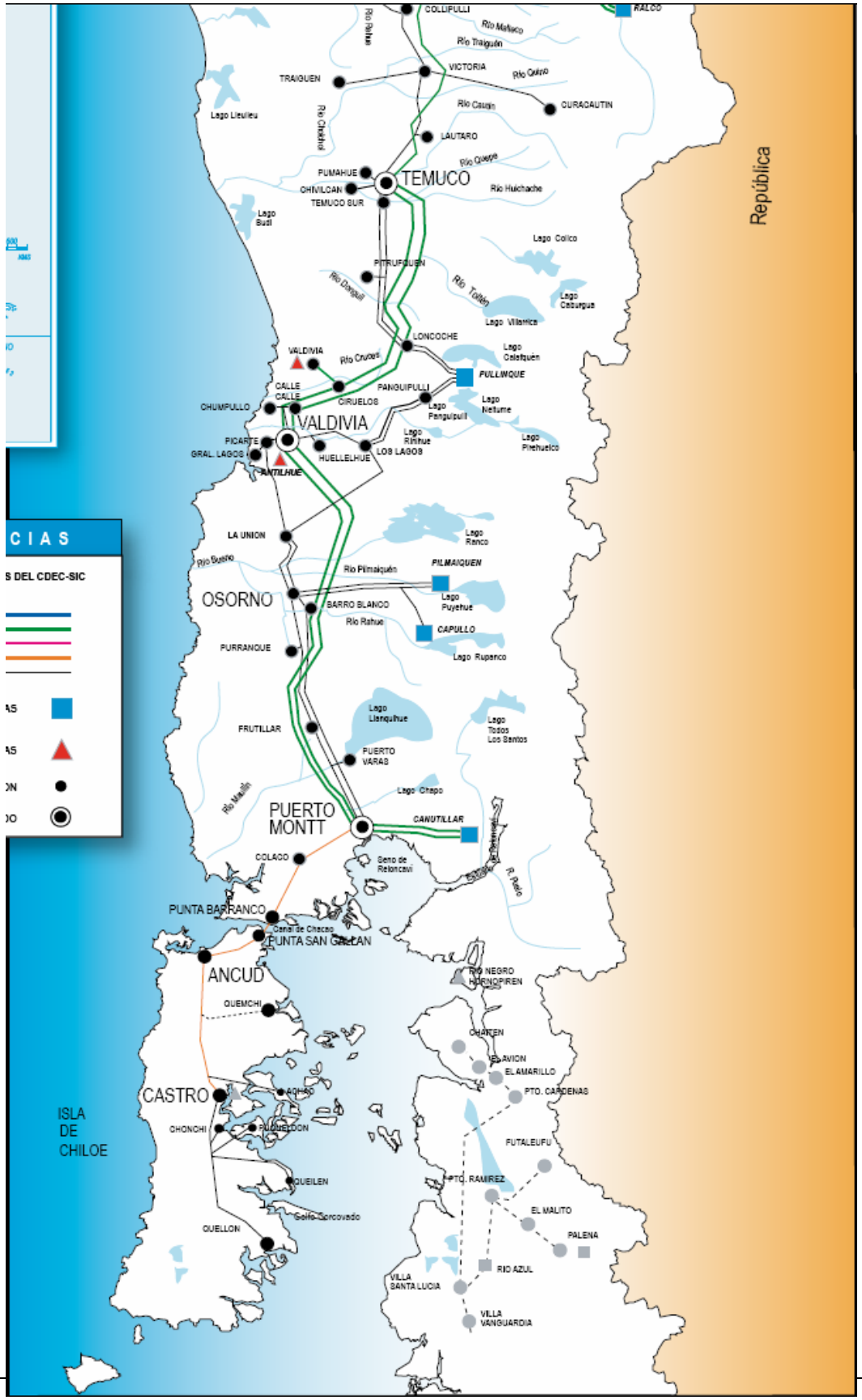
B ANEXO: MAPA GEOGRÁFICO DE LOS RECURSOS ELÉCTRICOS EN EL SIC[14]

[14] Centro de Despacho Económico de Carga – Sistema Interconectado Central, CDEC-SIC (2007). *Estadísticas de Operación 1997/2006*.

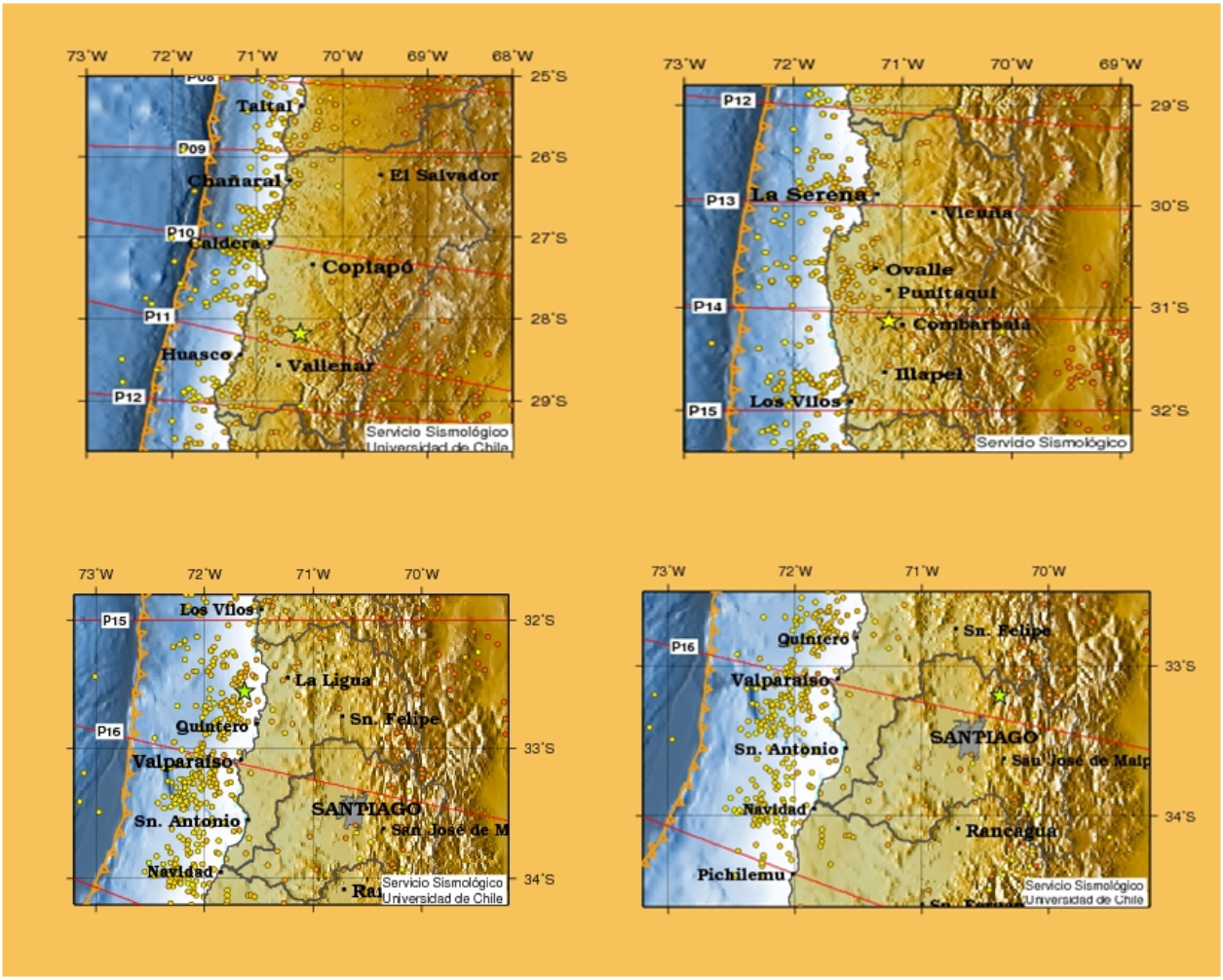

TALTAL
PAPOSO
TALTAL
EL SALVADOR
MONTANDON
POTRERILLOS
CHAÑARAL
DIEGO
DE ALMAGRO
MINERA
MANTOS DE ORO
CALDERA
CHAMONATE
COPIAPO
CARDONES
LA CANDELARIA
PLANTAS
T. AMARILLA
CERRILLOS
LOS LOROS
Río Copiapó
CASTILLA
GUACOLDA
HUASCO
PELLETS
MAITENCILLO
ALTO DEL CARMEN
VALLENAR
Río del Tránsito
ALGARROBO
DOS AMIGOS
PAJONALES
OCEANO PACIFICO
Mar Chileno
Isla San Félix
Isla San Ambrosio
Isla Salas y Gómez
ISLA DE PASCUA


INCAHUASI
ROMERAL
LA SERENA
MARQUESA
Río Elqui
EL INDIO
VICUÑA
SAN JOAQUIN
GUAYACAN
PAN DE AZUCAR
ANDACOLLO
EL PEÑON
Río Hurtado
OVALLE
MONTE PATRIA
LOS MOLLES
Río Limarí
PUNITAQUI
EL SAUCE
COMBARBALA
Río Rapel
ILLAPEL
LOS PELAMBRES
Río Choapa
LOS VILOS
LOS VILOS
Río Petorca
Río de La Ligua
CABILDO
QUINQUIMO
Río Putaendo
C. VIEJAS
VENTANAS
CALERA
Río Aconcagua
EL SAUCE
Río Colorado
MEHUENCO
LOS QUILOS
CHACABUQUITO
ALMENDRAL
SAN ISIDRO
SAN LUIS
LAS VEGAS
LOS MOLLES
SALADILLO
LOS VIENTOS
QUILLOTA
VALPARAISO
SAN PEDRO
POLPAICO
DISPUTADA
AGUA SANTA
LAGUNA VERDE
SANTIAGO
CERRO NAVIA
EL SALTO
LA FLORIDA
CASABLANCA
RENCA
ALFALFAL
CHENA
MAITENES
SAN ANTONIO
EL MONTE
P. ALTO
MELIPILLA
LOS MORROS
Río Maipo
MANDINGA
PAINE
ALTO JAHUEL
PUNTILLA
CAEMSA
LOS BAJOS
HOSPITAL
LAS ARAÑAS
EL VOLCAN
SAN FCO. DE MOSTAZAL
CANDELARIA
GRANEROS
QUELTEHUES
SEWEL
COYA
RANCAGUA
RAPEL
Embalse Rapel
LOS LIRIOS
PANGAL
QUELENTARO
P. DE CORTES
SAUZAL
TILCOCO
SAUZALITO
República Argentina

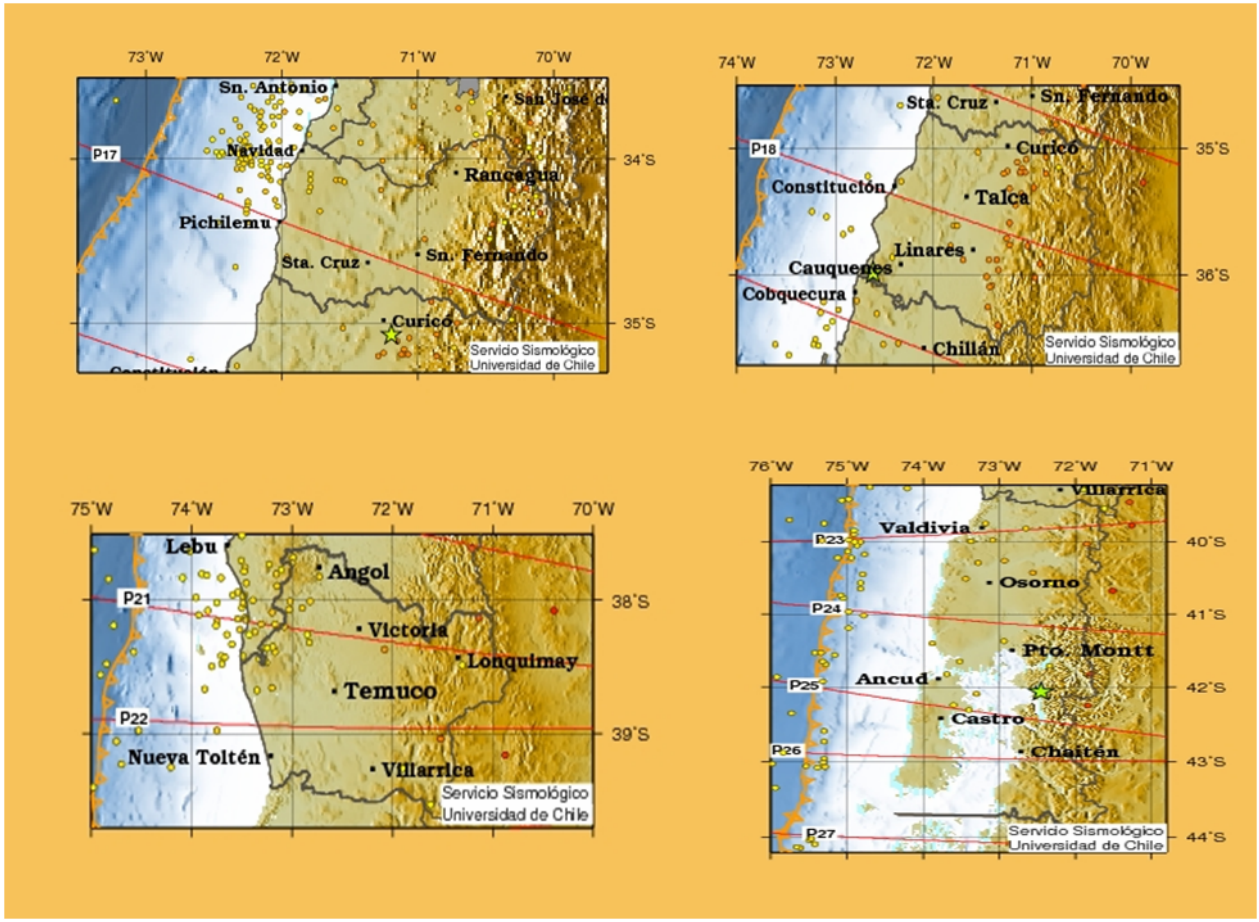

OCEANO PACIFICO
Mar Chileno
PORTEZUELO
S. VICENTE DE T. TAGUA
RENGO
MARCHIHUE
LA RONDA
PELEQUEN
SAN FERNANDO
PANIAHUE
NANCAGUA
Río Tinguiririca
Canal Teno - Chimbarongo
QUINES
Estero Nilahue
Río Teno
TENO
CURICO
LICANTEN
HUALAÑE
ITAHUE
SAN PEDRO
Río Mataquito
V. PRAT
Río Claro
SAN RAFAEL
TALCA
CONSTITUCION
E. VERDE CONST.
MAULE
Río Maule
SAN IGNACIO
LOMA ALTA
CURILLINQUE
ARAUCO CONSTITUCION
SAN JAVIER
COLBUN
CIPRESES
VILLA ALEGRE
ANCOA
Embalse Melado
ISLA
PEHUENCHE
MACHICURA
LINARES
CAUQUENES
Laguna del Maule
LONGAVI
PARRAL
Río Achibueno
Río Cauquenes
Río Perquilauquén
Río Longaví
ÑIQUEN
SAN CARLOS
TOME
Río Itata
COCHARCAS
HUACHIPATO
P.BELLAVISTA
TALCAHUANO
PENCO
SAN VICENTE
CONCEPCION
CHILLAN
Río Ñuble
Río Langui
PETROQUIMICAS
NUEVA ALDEA
BULNES
HUALPEN
PETROPOWER
CHIGUAYANTE
TRES ESQUINAS
CHARRUA
ANTUCO
EL TORO
PETROX
SAN PEDRO
BOCAMINA
L.COLORADA
CHOLGUAN
RUCUE
CORONEL
CORONEL
CAMPANARIO
Río Laja
Laguna de La Laja
QUILACOYA
ABANICO
ARAUCO
HORCONES
E. VERDE
MAMPIL
HORCONES
LAJA
PEUCHEN
CARAMPANGUE
LOS ANGELES
INFORSA
NACIMIENTO
Río Vergara
Río Bio Bio
CURANILAHUE
NEGRETE
LA ESPERANZA
PANGUE
LEBU
TRES PINOS
CELPAC
Río Mulchén
ANGOL
Río Renaico
Argentina


COLLIPULLI
RALCO
Río Mañaco
Río Traiguén
TRAIGUEN
VICTORIA
Río Quino
Río Cautín
CURACAUTIN
Lago Lleulleu
Río Chekinil
LAUTARO
PUMAHUE
TEMUCO
Río Quepe
CHIVILCAN
TEMUCO SUR
Río Huichache
Lago Budi
Lago Colico
PITRUFQUEN
Río Donguil
Río Toltén
Lago Caburgua
Lago Villarrica
LONCOCHE
VALDIVIA
Río Cruces
Lago Calafquen
PULLIMQUE
CALLE CALLE
PANGUIPULLI
CHUMPULLO
CIRUELOS
Lago Panguipulli
Lago Neltume
VALDIVIA
PICARTE
Lago Riñihue
Lago Pirehueico
GRAL. LAGOS
HUELLELHUE
LOS LAGOS
ANTILHUE
LA UNION
Lago Ranco
Río Bueno
Río Pilmaiquén
PILMAIQUEN
OSORNO
Lago Puyehue
BARRO BLANCO
Río Rahue
CAPULLO
PURRANQUE
Lago Rupanco
Lago Llanquihue
FRUTILLAR
Lago Todos Los Santos
PUERTO VARAS
Río Maullín
Lago Chapo
PUERTO MONTT
CANUTILLAR
COLACO
Seno de Reloncaví
PUNTA BARRANCO
Canal de Chacao
PUNTA SAN GALLAN
ANCUD
RIO NEGRO HUEMPIREN
QUEMCHI
CHAITEN
EL AVION
EL AMARILLO
PTO. CARDENAS
CASTRO
AQUAS
ISLA DE CHILOE
CHONCHI
FUTALEUFU
QUEILEN
PTO. RAMIREZ
Golfo Corcovado
EL MALITO
QUELLON
PALENA
RIO AZUL
VILLA SANTA LUCIA
VILLA VANGUARDIA
República
C I A S
S DEL CDEC-SIC

C ANEXO: SISMICIDAD HISTÓRICA EN LAS REGIONES DE CHILE PERTENECIENTES AL SIC[15]



[15] Servicio Sismológico de la Universidad de Chile (1998). *Sismicidad histórica: Catálogo de Eventos entre los años 1964 y 1995*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.


73°W
72°W
71°W
70°W
Sn. Antonio
Navidad
Rancagua
Pichilemu
Sta. Cruz
Sn. Fernando
Curicó
P17
34°S
35°S
Servicio Sismológico
Universidad de Chile
74°W
73°W
72°W
71°W
70°W
Sta. Cruz
Sn. Fernando
Curicó
Constitución
Talca
Linares
Cauquenes
Cobquecura
Chillán
P18
35°S
36°S
Servicio Sismológico
Universidad de Chile
75°W
74°W
73°W
72°W
71°W
70°W
Lebu
Angol
Victoria
Lonquimay
Temuco
Nueva Toltén
Villarrica
P21
P22
38°S
39°S
Servicio Sismológico
Universidad de Chile
76°W
75°W
74°W
73°W
72°W
71°W
Villarrica
Valdivia
Osorno
Pto. Montt
Ancud
Castro
Chaitén
P23
P24
P25
P26
P27
40°S
41°S
42°S
43°S
44°S
Servicio Sismológico
Universidad de Chile

SIMBOLOGÍA
Profundidad del sismo (Km.)
0
-50
-100
-150
-200
SISMICIDAD (UN PUNTO EQUIVALE A UN SISMO DE MAGNITUD SOBRE 4)
ÚLTIMO SISMO SENSIBLE
FOSA SUBMARINA
P17
PERFIL PROYECTADO
LÍMITE REGIONAL
LÍMITE INTERNACIONAL
NOTA: Proyección Mercator, Elipsoide de Referencia WGS 84
Escala Vertical (en metros)
6000
3000
0
-3000
-6000

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE REGULACIÓN NÚCLEO - ELÉCTRICA

INFORME FINAL

2009

ÍNDICE

ÍNDICE **2**
RESUMEN EJECUTIVO **7**
1 INTRODUCCIÓN **15**
1.1 INTRODUCCIÓN 15
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 16
1.3 PATRÓN DE ANÁLISIS Y SUPUESTOS INVOLUCRADOS 18
1.4 ORGANIZACIÓN DEL INFORME 22
2 EL MERCADO ELÉCTRICO CHILENO, SU REGULACIÓN Y DESARROLLO FUTURO **24**
2.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA REGULACIÓN ELÉCTRICA CHILENA 25
2.2 PROCESO DE DECISIÓN DEL INVERSIONISTA 27
2.3 PARTICIPACIÓN DEL ESTADO COMO SOCIO DE EMPRESAS ELÉCTRICAS 28
2.4 INCENTIVOS DEL ESTADO A TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN 30
2.5 CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO CHILENO EN EL LARGO PLAZO 31
2.5.1 Proyección del Sistema *31*
2.5.2 Condiciones que pueden motivar la incorporación nuclear *32*
3 CARACTERIZACIÓN DE UN PROYECTO NUCLEAR PARA OBJETOS REGULATORIOS **34**
3.1 ASPECTOS GENERALES DE UN PROYECTO NUCLEAR 34
3.1.1 Variedad de tecnologías de reactores nucleares. *34*
3.1.2 Intensivo requerimiento de capital y bajos costos operacionales. *35*
3.1.3 Largos tiempos de construcción y de vida útil. *36*
3.1.4 Tecnología de baja emisión de gases de efecto invernadero. *36*
3.2 REQUERIMIENTOS ESPECIALES DE UN PROYECTO NUCLEAR. 37
3.2.1 Necesidad de autorización y respaldo del Estado, y la influencia de aceptación pública *37*
3.2.2 Permisos otorgados por esquema de licencias. *38*
3.2.3 Recursos humanos altamente especializados. *40*
3.2.4 Tratamiento de desechos nucleares. *40*
3.2.5 Desmantelamiento de las instalaciones. *41*
3.2.6 Responsabilidad civil ante accidentes nucleares. *42*
3.3 ASPECTOS OPERATIVOS DE UN PROYECTO NUCLEAR 43
3.3.1 Alto factor de planta y mal desempeño para el seguimiento de la carga. *43*
3.3.2 Extensos tiempos de partida. *44*
3.3.3 Tratamiento de mantenimientos. *45*
3.3.4 Requerimientos de servicios auxiliares *45*

3.4 MODELOS DE NEGOCIOS PREDOMINANTES. 46
3.4.1 Estructura de Costos y Oportunidades de Negocio 47
3.4.2 Ingresos Potenciales del Negocio 47
3.5 FINANCIAMIENTO DE UN PROYECTO NUCLEAR 51
3.5.1 Incentivos Estatales a la Inversión 51
3.5.2 Fuentes de Financiamiento 52
3.5.3 Riesgos del Financiamiento 54
3.5.4 Clasificación de Riesgo 56
4 IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS PARA LA INVERSIÓN DE UN PROYECTO NUCLEAR EN CHILE 58
4.1 BARRERAS PUESTAS POR EL ESTADO Y LA SOCIEDAD 58
4.1.1 Las barreras del riesgo regulatorio y político 59
4.1.2 Las barreras de una no aceptación pública 59
4.1.3 Las barreras relacionadas a la responsabilidad civil 60
4.1.4 Barreras del estudio de impacto ambiental 61
4.2 DECISIONES ESTRATÉGICAS Y BARRERAS 61
4.2.1 Definición de la tecnología, el tamaño y oportunidad para entrar al mercado y eventuales barreras. 61
4.2.2 Definición de la ubicación y eventuales barreras. 62
4.2.3 Definición del punto de conexión y eventuales barreras. 63
4.3 MODELO DE NEGOCIO, FINANCIAMIENTO Y BARRERAS 63
4.3.1 Costos, estructura de costos y eventuales barreras. 64
4.3.2 Ingresos potenciales del proyecto y eventuales barreras. 64
4.3.3 Alternativas de financiamiento y eventuales barreras. 65
4.4 CONSTRUCCIÓN, PUESTA EN MARCHA Y BARRERAS 65
4.4.1 Obtención de Licencias y de Concesiones y eventuales barreras 65
4.4.2 Construcción y eventuales barreras 66
4.4.3 Puesta en marcha (commissioning) y eventuales barreras 67
4.5 OPERACIÓN, CIERRE DE LA PLANTA Y BARRERAS 67
4.5.1 Operación y eventuales barreras 67
4.5.2 Tratamiento de desechos y eventuales barreras 68
4.5.3 Cierre, desmantelamiento y eventuales barreras. 69
5 LA VISIÓN DE LOS TOMADORES DE DECISIÓN DE INVERSIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO 70
5.1 OBJETIVO 70
5.2 PREGUNTAS ORIENTADORAS DE LA DISCUSIÓN 71

5.3 ANÁLISIS DE LAS OPINIONES 71

SISTEMATIZACIÓN DE BARRERAS IDENTIFICADAS PARA LA INCORPORACIÓN DE LA OPCIÓN NUCLEAR 82

5.4 BARRERAS ASOCIADAS A LA VIABILIDAD DEL PROYECTO. 85

5.4.1 Riesgo Regulatorio y Político 86

5.4.2 Aceptación Pública 88

5.4.3 Localización del proyecto 90

5.4.4 Obtención de Licencias 91

5.5 BARRERAS QUE CREAN INCERTIDUMBRE EN LOS COSTOS FINANCIEROS. 96

5.5.1 Retrasos durante la construcción 96

5.5.2 Estudio de Impacto Ambiental 98

5.5.3 Logro del financiamiento del proyecto 99

5.5.4 Acceso a contratos en la etapa de financiamiento 101

5.6 BARRERAS QUE CREAN INCERTIDUMBRE EN LOS COSTOS OPERACIONALES. 102

5.6.1 Reconocimiento de costos no tradicionales para una central nuclear 102

5.6.2 Costos de manejo de desechos nucleares 102

5.6.3 Costos de desmantelamiento 105

5.6.4 Seguros de responsabilidad civil 109

6 SOLUCIONES PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DE BARRERAS ASOCIADAS A PROYECTOS NUCLEARES 111

6.1 BARRERAS ASOCIADAS A LA VIABILIDAD DEL PROYECTO. 113

6.1.1 Riesgo regulatorio y político 113

6.1.2 Aceptación Pública 114

6.1.3 Localización del proyecto 115

6.1.4 Obtención de Licencias 118

6.2 BARRERAS QUE CREAN INCERTIDUMBRE EN LOS COSTOS FINANCIEROS. 120

6.2.1 Retrasos durante la construcción 120

6.2.2 Estudio de Impacto Ambiental 121

6.2.3 Acceso al financiamiento 122

6.2.4 Acceso a contratos en la etapa de financiamiento 123

6.3 BARRERAS QUE CREAN INCERTIDUMBRE EN LOS COSTOS OPERACIONALES. 124

6.3.1 Reconocimiento de costos no tradicionales para una central nuclear 124

6.3.2 Costos de manejo de desechos nucleares 125

6.3.3 Costos de desmantelamiento 125

6.3.4 Seguros de responsabilidad civil 126

6.4 RESUMEN DE SOLUCIONES PROPUESTAS 127
7 CAMBIOS PROPUESTOS EN LA REGULACIÓN 129
7.1 DFL Nº4 129
7.2 DS 327 130
7.3 NORMA TÉCNICA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO NTSYCS 132
7.4 REGLAMENTO INTERNO DEL CDEC 133
7.5 MANUALES DE PROCEDIMIENTO CDEC 134
8 IMPLICANCIAS DE LA ENTRADA DE UN PROYECTO NUCLEAR AL SISTEMA ELÉCTRICO CHILENO 136
8.1 COSTO DE DESARROLLO DE UNA CENTRAL NUCLEAR 136
8.2 SUPUESTOS DE LA SIMULACIÓN 141
8.2.1 Supuestos de precios de combustibles 141
8.2.2 Supuestos de demanda 142
8.2.3 Disponibilidad de GNL 143
8.2.4 Supuestos de emisiones de CO_2 por tecnología 143
8.2.5 Supuestos de costos de inversión unitarios por tecnología 144
8.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN 145
8.3.1 Plan de obras en generación 145
8.3.2 Efecto en costos marginales. 147
8.3.3 Análisis del despacho de las centrales nucleares. 149
8.3.4 Emisiones de CO_2. 150
8.4 SENSIBILIDAD: RETRASO EN LA FECHA DE INGRESO DE PROYECTO NUCLEAR 150
8.4.1 Comparación de costos marginales. 151
8.4.2 Comparación de emisiones de CO_2. 151
8.5 SENSIBILIDAD: CENTRALES NUCLEARES CON CAPACIDAD 800 MW 152
8.5.1 Comparación de costos marginales. 152
8.5.2 Comparación de emisiones de CO_2. 153
8.6 INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS 154
I. ANEXO: ASPECTOS REGULATORIOS QUE RIGEN LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS 155
II. ANEXO: PROGRAMAS DE ACEPTACIÓN PÚBLICA: EL CASO DE FRANCIA Y CANADÁ 159
III. ANEXO: ESQUEMAS DE LICENCIAS: EXPERIENCIA INTERNACIONAL 161
IV. ANEXO: ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO: EXPERIENCIA INTERNACIONAL 163
V. ANEXO: MANEJO DE DESECHOS NUCLEARES: EXPERIENCIA INTERNACIONAL 166

VI. ANEXO: DESMANTELAMIENTO DE CENTRALES NUCLEARES: EXPERIENCIA INTERNACIONAL 170

VII. ANEXO: SEGUROS DE RESPONSABILIDAD CIVIL: EXPERIENCIA INTERNACIONAL ... 171

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo del presente estudio consiste en identificar las barreras de entrada regulatorias que debería enfrentar la energía núcleo-eléctrica en el mercado eléctrico nacional. El estudio se centra en la identificación de barreras a proyectos de inversión núcleo-eléctricos y el análisis de sus implicancias en el mercado eléctrico, y presupone que el Estado ya ha definido previamente los elementos centrales de un programa nuclear, el cual permite sustentar el desarrollo de este tipo de centrales. Por tanto, es al amparo de tal programa que se analizan las barreras que enfrentaría un inversionista que quiera llevar adelante un proyecto nuclear, esto es, la construcción y operación de una o más plantas nucleares.

Este estudio supone resueltos temas como legislación nuclear, institucionalidad asociada, sistema de licencias, suministro de combustible, centrándose en la identificación y análisis de las barreras que debiese enfrentar el desarrollo de un proyecto de energía núcleo-eléctrica que quisiera ser abordado por un inversionista privado en el país. Sin embargo, no es posible en el análisis separar del todo aspectos vinculados a proyectos de inversión con materias propias de un programa nuclear; ejemplo concreto de esto son la existencia o no de voluntad gubernamental de acoger un desarrollo nuclear y de aceptación pública de este, que surgen como las primeras barreras a la inversión, aunque no sean barreras regulatorias propiamente tales.

El patrón de análisis del presente estudio, considera que el marco regulatorio del sector eléctrico se mantiene, con un mercado mayorista competitivo en generación, con indiferencia tecnológica (salvo los incentivos asociados al uso de energías renovables no convencionales, ERNC), y con inversiones desarrolladas por iniciativas privadas, donde el regulador toma un rol sólo indicativo. Se concluye si que el desarrollo nuclear está muy condicionado a un apoyo inicial explicito del Estado, particularmente en cuanto lograr su desarrollo sea el resultado de un consenso nacional, aunque sin subsidios directos a la tecnología. Se considera el ingreso del proyecto entre los años 2025 a 2030, ello porque la experiencia internacional demuestra que un país sin desarrollo nuclear previo, tarda del orden de 15 años desde la decisión de desarrollo nuclear hasta el ingreso de la primera unidad. Adicionalmente, se debe señalar que el desarrollo nuclear se supone en base a tecnologías probadas de gran tamaño. Siguiendo este análisis se identifica la existencia o inexistencia de barreras en cada una de las etapas del proceso de inversión señaladas en la Figura 1.

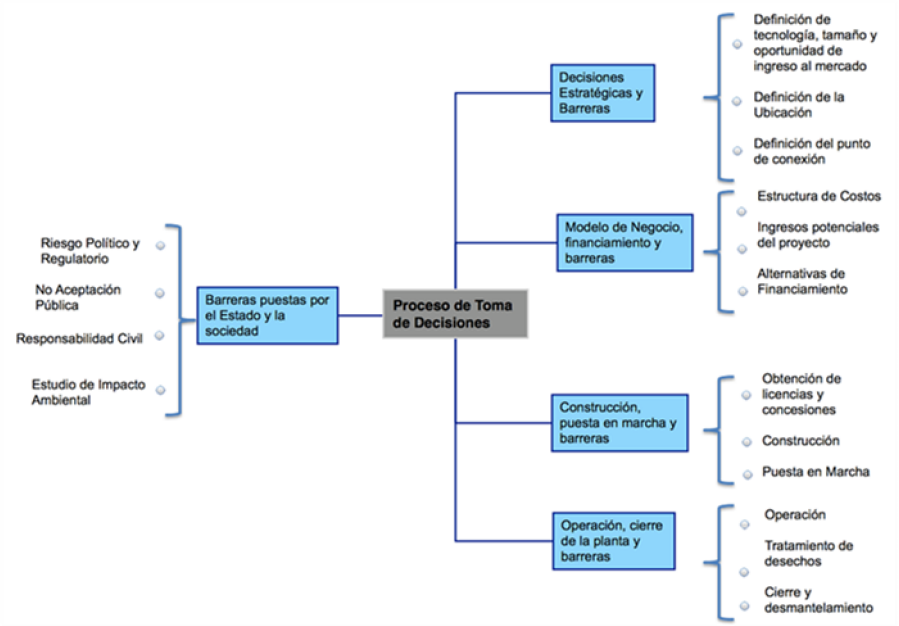


Figura 1: Proceso de toma de inversión de un proyecto de generación

De manera de identificar de primera fuente las barreras que enfrenta un inversionista nuclear, se llevó a cabo una serie de entrevistas a líderes del sector energético en el país, a fin de conocer las barreras y riesgos que detecta el mercado en la inserción de plantas de energía nuclear en Chile. El resultado de dichas entrevistas se resume en la Tabla 1.

Tabla 1: Aspectos claves detectados en entrevistas

#	Tema	Aspectos Claves
1	**Posición frente a la Energía Nuclear**	• Distintas visiones respecto del tema de la energía nuclear.
		• Visiones principalmente de apoyo.
		• Consideraciones ambientales pueden favorecer el desarrollo de la energía nuclear.
		• Desarrollo nuclear debe ser abordado en acuerdo a largo plazo a nivel país.
2	**Barreras Identificadas**	• Principales barreras se relacionan con existencia o no de voluntad política, aceptación pública y consenso nacional frente a la energía nuclear.
		• La existencia o no de un programa nuclear a nivel de Estado y de una legislación nuclear sólida.
		• Elección del lugar de emplazamiento puede resultar decisión compleja.
		• Probables requerimientos al sistema de transmisión.
		• Amarrarse con una tecnología o país en particular puede ser problemático.
		• Tamaño de la central no resulta barrera.
3	**Medidas que permitirán el desarrollo de proyectos nucleares**	• Se requiere de política de Estado de largo plazo.
		• Compromiso del Estado para lograr aceptación pública.
		• Resolver lugar de emplazamiento es central para desarrollo proyecto nuclear.
		• Rol central del Estado en la decisión del lugar.
		• Estado debiese proveer el terreno a través de una concesión, licitando a privados la construcción y operación de la central.
		• Requerimiento de régimen regulatorio sólido, de institucionalidad nuclear independiente y de sistema de licenciamiento robusto.
4	**Riesgos Identificados**	• Proyectos nucleares presentan riesgos distintos a otras tecnologías
		• Existencia de riesgos políticos, regulatorios y técnicos.
		• Proyectos Greenfield presentarían mayores riesgos por dificultades de financiamiento.
		• Requerimientos de manejo de desechos y desmantelamiento.

#	Tema	Aspectos Claves
5	**Rol del Estado**	• Existen distintas posiciones respecto del rol del Estado.
		• Estado protector y garante del desarrollo nuclear.
		• Estado socio y controlador del proyecto nuclear.
		• Estado neutral no debe forzar ingreso de una tecnología.
		• Titulo de dominio para el desarrollo de proyecto puede servir como señal de compromiso del Estado.
6	**Efectos en el Mercado Eléctrico**	• Ingreso de una central nuclear no generaría impactos importantes al sistema eléctrico en el horizonte considerado.
		• No debiese afectar la competitividad de otros medios de generación.
		• Interconexión SIC-SING se debe evaluar independiente de la alternativa nuclear.
7	**Recursos Humanos**	• Recursos humanos claves en el desarrollo de un programa nuclear.
		• No existe el know-how suficiente en el país.
		• Se requiere de convenios de formación o acuerdos de transferencia tecnológica.
8	**Modelos de Negocio**	• Riesgo del proyecto asociado a definición del modelo de negocios.
		• Opciones atractivas son consorcio entre generadoras y/o grandes clientes.
		• Necesidad comprometer en el desarrollo a empresas con experiencia en temas nucleares.
		• Estructura de financiamiento es otro aspecto clave que condiciona riesgo que enfrenta el desarrollador del proyecto.
		• Contratos de suministro durante la concepción del proyecto permiten garantizar ingresos futuros.
		• Esquema de licitaciones de suministro de distribuidoras permitirían llevar a cabo dicha tarea.
		• Distintas estrategia de financiamiento: modelos PPA, project finance, financiamiento corporativo, entre otros.
		• Clientes mineros dispuestos a contratarse en el largo plazo, pero no a ser partícipes como socios del proyecto.

De esta forma, y a partir de los aspectos identificados en las entrevistas y desde el análisis previo del Consultor, se lleva a cabo la sistematización de las barreras que enfrenta el inversionista para el desarrollo de un proyecto nuclear. La Figura 2, contiene un diagrama de flujos que representa, en distintos niveles jerárquicos, las barreras identificadas en este estudio. Es importante destacar que en dicha figura, el consenso nacional es transversal a la jerarquización, esto por la importancia que implica la aceptación pública y el apoyo político a lo largo de cualquier etapa de un proyecto núcleo-eléctrico.

Una vez realizada la sistematización de las barreras, se procede a la definición de propuestas de manera de permitir la mitigación de las barreras detectadas. En este sentido, las barreras deben ser levantadas a través de un esfuerzo conjunto por parte del Estado y el sector privado. Bajo esta consideración, un proyecto nuclear, principalmente en su primera etapa, debiese ser sostenido por el Estado, de manera de buscar la mitigación de los riesgos referidos a la obtención de permisos, la localización del proyecto y la aceptación pública. La realización de estas tareas por parte del Estado se justifica debido a que las barreras asociadas a estas actividades específicas provocarían que el sector privado no esté dispuesto a realizar el proyecto. Sin embargo, una vez que estas tareas hayan sido concretadas, el privado estaría en condiciones de participar activamente en el proyecto, a través de la concesión del sitio y la licitación de la construcción y operación de la planta. Es importante resaltar que debe definirse, y realizarse, una transición fluida de responsabilidades desde el Estado al operador privado

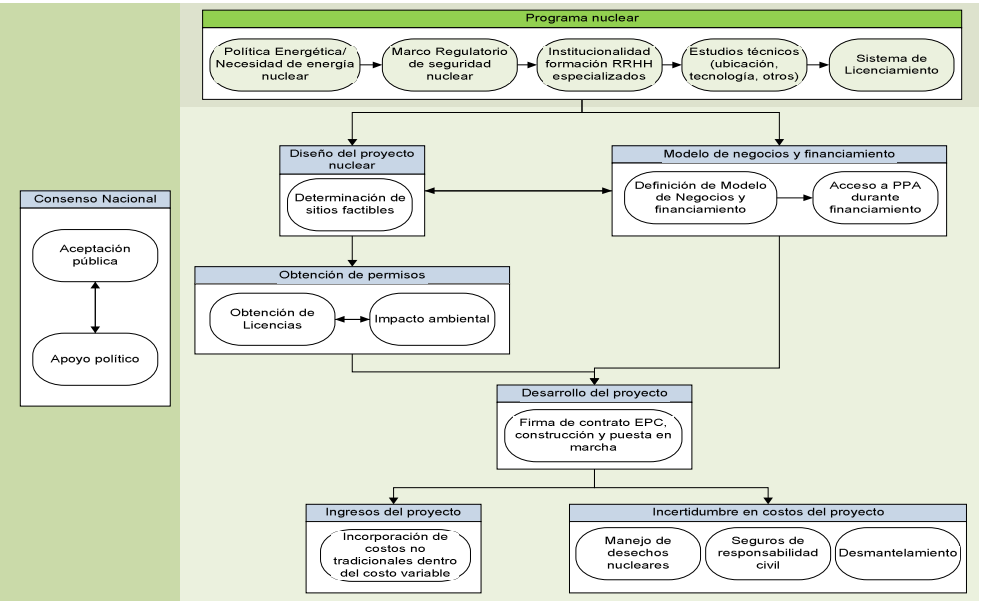


Figura 2: Sistematización y jerarquización de barreras

En una etapa posterior, y luego de finalizar el proceso de licitación antes referido, la participación del Estado debería ser reducida, sólo con el fin de mantener un consenso nacional en virtud del apoyo de la energía nuclear, garantizando una operación segura. Cabe destacar que esta reducción no implica un alejamiento del Estado del proyecto, sino más bien que entregue el control del negocio al privado.

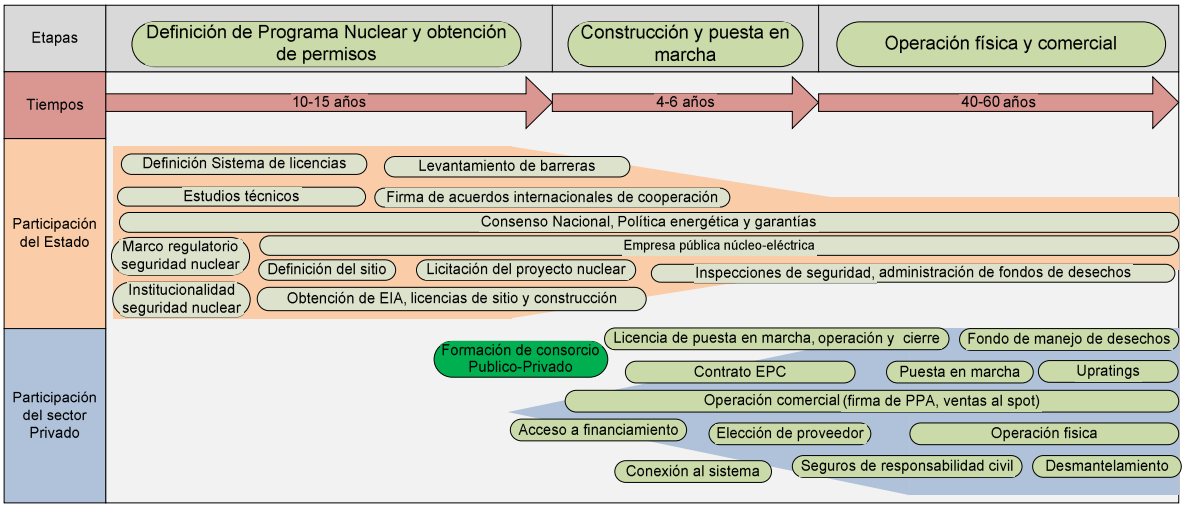


Figura 3: Modelo propuesto para el levantamiento de barreras con el objetivo del desarrollo de un proyecto nuclear en Chile.

Esta lógica de implementación del proyecto nuclear, sinterizada en la Figura 3, mitiga los riesgos asociados a la obtención de permisos de construcción y localización de las instalaciones de generación. Sin embargo, durante la operación de la central es condición esencial que rijan las leyes de mercado, es decir que el proyecto núcleo-eléctrico esté expuesto al mismo nivel de riesgo que cualquier otro tipo de empresa generadora presente en el mercado.

A continuación se resume las propuestas de levantamiento de cada una de las barreras identificadas en la Figura 2, en base a la revisión de las particularidades propias de las centrales nucleares, del análisis de la regulación vigente y de los antecedentes recopilados mediante las entrevistas a agentes participantes del sector.

- **Riesgo Regulatorio y Político:** No se propone cambios regulatorios profundos, más bien se plantea que el Estado debe entregar señales de compromiso de largo plazo. Es necesario comprometer al Estado, con el objeto que el sector privado participe en un proyecto nuclear. Esto se logra con el modelo propuesto en la Figura 3, permitiendo que las garantías y compensaciones que pudiesen ser entregadas en caso de cambios políticos o regulatorios, queden establecidas dentro del contrato del consorcio. El hecho que los intereses del Estado estén comprometidos, y que se encuentren relacionados directamente con el éxito del proyecto nuclear, es visto como una señal importante del compromiso del país por parte del inversionista.
- **Aceptación Pública:** Se propone la creación de instancias y la entrega de los medios que resulten necesarios para que la población local participe dentro de los distintos procesos de decisión del proyecto. La participación ciudadana debe darse principalmente en la etapa temprana del proyecto, en la selección del sitio de entre los

técnicamente factibles declarados por la autoridad, y principalmente a la hora de adoptar a la energía nuclear como un proyecto país. Sin embargo, para que la ciudadanía pueda participar a conciencia en estos procesos, resulta vital que sea previamente educada en todos los aspectos que involucren a la energía nuclear, permitiendo de esta manera que las personas puedan formarse una opinión propia, dejando de lado los prejuicios fundados en el desconocimiento o la publicidad adversa proveniente de otros sectores.

- **Localización del Proyecto:** Se propone que el proceso de selección de los sitios factibles para el desarrollo de una planta nuclear sea coordinado y validado por el Estado, siendo realizado por equipos técnicos altamente especializados e independientes. Con el objeto de garantizar la seguridad de las instalaciones nucleares, se recomienda que estos estudios sean realizados por al menos dos grupos de trabajo distintos. Respecto a la utilización de los sitios, se propone que el Estado, una vez que determine los sitios factibles, sea el encargado de gestionar la compra del terreno a través de Bienes Nacionales, los permisos ambientales asociados y las licencias para el uso del sitio, de manera de llevar a cabo posteriormente un proceso de licitación que defina quien se hará cargo de la construcción y operación de la planta.
- **Obtención de Licencias:** Se propone definir un conjunto de tecnologías como factibles, y en base a ellas, determinar tanto los requerimientos como exigencias del sistema, así como también la adecuación de los recursos humanos que son requeridos. Adicionalmente, las tecnologías permitidas para el uso dentro del país deben estar respaldadas por acuerdos bilaterales de cooperación tecnológica, de recursos humanos y de suministro de insumos. El diseño y sitio final debe ser escogido por el privado en base a las opciones propuestas. Adicionalmente, se recomienda la concepción de un sistema de licencias divididos en etapas, de manera de permitir la realización de procesos en paralelo, agilizando el procedimiento de entrega de licencias.
- **Retrasos en la construcción:** Se propone que la firma de contratos EPC (Engineering, Procurement and Construction) considere exigencias de coberturas, incentivos y la distribución de responsabilidades entre las partes interesadas. En este sentido, se debe definir un pago fijo al contratista por el trabajo realizado, así como también, y de forma complementaria, establecer multas al contratista en caso de retrasos causados por su negligencia, o premios por el término de obras dentro del plazo y presupuesto estimado inicialmente.
- **Estudio de Impacto Ambiental:** Se propone llevar a cabo un estudio de impacto ambiental como una primera etapa del proyecto. Es importante en este punto, que la central nuclear no tenga trato preferencial, de manera de mejorar la confianza de la opinión pública respecto a la energía nuclear. Deben ser considerados los aspectos técnicos y de seguridad propios de ella.

- **Acceso al financiamiento:** Se propone que el proyecto nuclear a desarrollar en el país, se lleve a cabo a través de un levantamiento de capital que provenga de la conformación de un consorcio en el que compartan intereses y derechos de propiedad tanto el Estado como privados. Por otro lado, se considera recomendable que el Estado establezca garantías para mitigar los riesgos o incluso aportar parte del financiamiento directo para los primeros proyectos desarrollados en el país.
- **Acceso a contratos:** Se propone la modificación de la regulación de licitaciones de suministro de energía de las empresas distribuidoras, con el objeto de crear un esquema de suministro más amplio, tal que permita garantizar el suministro de energía a clientes regulados y a la vez entregue liquidez al mercado. El esquema propuesto es similar al desarrollado en el mercado eléctrico brasileño, y considera que distintas proporciones de consumo sean garantizadas para distintos horizontes de tiempo: largo plazo para garantizar suministro (20 años), mediano plazo para corregir proyecciones de demanda (5 años), y corto plazo para otorgar liquidez al mercado (1 año).
- **Reconocimiento de costos no tradicionales:** La central nuclear será incorporada a un sistema eléctrico sólo en la medida en que esta sea competitiva frente a las demás tecnologías existentes, sin ningún tipo de intervencionismo en los mecanismos de operación del CDEC. Se debe diferenciar claramente cuáles de estos costos no tradicionales resultan efectivamente costos variables, evitando que costos de inversión sean considerados dentro de los costos variables.
- **Costos de manejo de desechos:** Se propone que el Estado sea quien defina una política de desechos, definiendo cómo, quién y cuándo debe manejar el tratamiento de desechos nucleares, no obstante este debe ser ejecutado por los privados. Al mismo tiempo, el Estado debe encargarse de recolectar un fondo que permita asegurar el financiamiento de la solución definitiva, fondo que debiese ser recaudado en base al pago de una cuota anual según la energía generada.
- **Costo de desmantelamiento:** Como problema análogo al de los costos de manejo de desechos nucleares, se deben implementan medidas de cobertura, con el objeto de asegurar que los medios necesarios se encuentren disponibles en el momento en que éstos sean requeridos. La opción de postergación del desmantelamiento se observa como la mejor alternativa, debido a que reduce el valor presente de los costos.
- **Seguro de responsabilidad civil:** La propuesta se centra en la definición de los montos de cobertura que presenta la Ley N° 18.302 de Seguridad Nuclear como punto fundamental, ya que con ella el inversionista podrá evaluar los costos asociados para contar con los seguros de responsabilidad civil necesarios. A la vez, se debe considerar el otorgamiento de beneficios a los primeros proyectos nucleares respecto a la cobertura que involucra los seguros, en virtud de mitigar los riesgos a los que se verán enfrentados.

Como se puede apreciar, la mayor parte de las propuestas no guardan relación con modificaciones regulatorias relevantes. No obstante, se desarrolla en el estudio un análisis

exhaustivo de manera de determinar los artículos de las regulaciones vigentes que presentan carencias frente a la opción nuclear, mencionando elementos que debiesen contener para dar cabida a su inserción en el sistema.

Es importante destacar que un aspecto central en una operación continua y sin problemas de una central nuclear es el contar con un suministro seguro de combustible nuclear. Sin embargo, en este estudio esto no ha sido identificado como una barrera ni planteadas propuestas al respecto, toda vez que se supone que esto está resuelto por el programa nuclear propiamente tal.

En un último capítulo, y dentro del contexto del estudio de una central nuclear en Chile, se evalúa el impacto que presenta la entrada a operación de una central de este tipo en el mercado eléctrico chileno. Para ello, conjuntamente con analizar el costo de desarrollo de una central nuclear, se evaluaron los efectos que produciría su introducción en los costos marginales del sistema, las emisiones totales de CO_2 y el efecto sobre otros agentes que operan en el mercado. Para cumplir con estos objetivos, se simuló el desarrollo de un programa nuclear que se materializa en la construcción de dos centrales nucleares, de 1100 MW cada una, en el SIC a partir del año 2025, con una primera central iniciando sus operaciones en el año 2025, mientras que la segunda lo haría en el año 2028.

Con todo lo anterior, el costo de desarrollo de una central nuclear de 1.100 MW, asumiendo un costo de inversión de 5.500 US$/kW-instalado; un costo variable total de 20 US$/MWh, el que no incluye el costo que involucra el manejo de desechos y desmantelamiento; una vida útil de 40 años; una tasa de descuento nominal equivalente al 9,3%; y un factor de planta de 85%, resulta del orden de 87 US$/MWh, valor que se presenta más alto que el costo de desarrollo del sistema actual dado por una central carbonera.

Del análisis de sensibilidad realizado, es posible observar que tanto el costo de inversión como la tasa de descuento exigida al proyecto tienen un alto impacto en la definición de sus costos. La cuantificación del efecto de incluir un recargo que haga reconocimiento del costo de desmantelamiento y manejo de desechos es directa, es decir, el costo de desarrollo se incrementa en la misma magnitud que el recargo aplicado; sin embargo, este efecto podría ser considerablemente distinto si se obliga al inversionista a contar con estos fondos al momento de iniciar el proyecto, incorporándolos dentro de sus costos de inversión.

Finalmente, se lleva a cabo el estudio de la evolución estimada del Sistema Interconectado Central hasta el año 2030, y los efectos del desarrollo de un programa nuclear a partir del año 2025. En dicha simulación se observa que para los años previos a la incorporación de la central nuclear, aparte de las centrales ERNC que por Ley deberían desarrollarse y del proyecto HidroAysén, no se pronostica la instalación de un gran número de centrales; pues el desarrollo de un programa nuclear y la baja en los costos marginales que ello implica podría desincentivar inversiones en tecnologías costosas como el carbón. De acuerdo a los análisis desarrollados, el desarrollo de centrales hidroeléctricas y a gas podría ser la alternativa que los inversionistas perciban como de menor riesgo para cubrir la demanda. Respecto a los costos marginales, se estima que, en el año 2025, cuando la primera central nuclear inicia sus operaciones, se produce un fuerte impacto en los costos marginales del sistema, disminuyendo aproximadamente 15 US$/MWh en promedio. En el año 2028, cuando la

segunda central nuclear comienza a operar, nuevamente se reducen los costos marginales promedios del sistema, de forma similar al efecto de la primera central.

Los costos marginales proyectados, bajo los supuestos señalados, no harían factible por si solos la operación comercial de una central nuclear; pues el promedio de largo plazo está en el rango de 60 a 70 US$/MWh mientras que el costo de desarrollo de dichas centrales superaría los 85 US$/MWh. En este sentido, desde el punto de vista comercial el desarrollador del proyecto debería generar los instrumentos para asegurar contratos por parte importante de la capacidad de generación del proyecto; este aspecto surge como uno de los más relevantes que de todas formas condicionará el desarrollo de esta alternativa. En este contexto, un escenario donde la generación térmica mediante combustibles fósiles (carbón y gas natural licuado) se hace más costosa (por precios de combustibles o eventuales impuestos a las emisiones) parece ser la alternativa de viabilizar un proyecto de esta naturaleza desde el punto de vista de un inversionista privado.

Estudios de sensibilidad del tamaño del reactor, considerando reactores más pequeños, demuestran como algunos de estos efectos se atenúan. Cabe destacar también que algunas de las barreras de entrada identificadas se aminoran al reducirse el tamaño de la central.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El presente estudio se enmarca en un escenario energético mundial que enfrenta importantes desafíos relacionados con temas tales como un constante crecimiento de la demanda, alta variabilidad de precios de combustibles fósiles y alza en las emisiones de gases invernaderos. En este contexto, la energía núcleo-eléctrica, es reconocida como una fuente de energía de baja emisiones de gases de efecto invernadero, y por lo tanto consiste en una de las posibles soluciones que aliviaría el desafío de un abastecimiento energético confiable.

Sin embargo, el desarrollo de inversiones de centrales núcleo-eléctrica se ha estancado en comparación a lo observado en las décadas de los 70 y 80. Este rezago se ha producido principalmente porque la alternativa nuclear, especialmente en mercados desregulados, no ha sido competitiva en términos de costos en comparación a otros combustibles tales como el carbón y el gas natural[1]. Otro factor que ha condicionado este rezago es la oposición de la opinión pública debido a los riesgos relacionados con el medio ambiente y riesgos de proliferación, cuya incidencia puede influir en retrasos de proyectos o incluso influir en las políticas públicas referentes al uso de energía nuclear. Debido a los puntos anteriormente explicados, países como Alemania, Italia y Bélgica han llegado al extremo de abandonar el uso de la energía nuclear. No obstante lo anterior, países asiáticos emergentes y con grandes necesidades energéticas como China, India y Corea del Sur han continuado con la industria nuclear con el objetivo de asegurar su desarrollo económico.

A pesar del estancamiento en el desarrollo de inversiones en nuevas centrales nucleares en occidente, la inversión en investigación y desarrollo en relación a la tecnología de reactores nucleares y el ciclo de vida del combustible nuclear no se ha detenido[2], lo que podría reactivar el desarrollo de inversiones relacionadas con nuevas centrales nucleares. Esto último se potencia debido a las iniciativas de cambios regulatorios que llevan a cabo algunos países a favor de reducir el calentamiento global.

La tecnología núcleo-eléctrica, además de la eficiencia energética, el uso de energías renovables y la inversión en tecnología de captura de emisiones de CO_2, son algunas posibles soluciones que están siendo estudiadas para mitigar problemas de abastecimiento energético en el largo plazo.

En el caso chileno, dados los recursos energéticos disponibles (principalmente hidroelectricidad) y el tamaño del mercado eléctrico, no ha parecido ni económico ni factible el desarrollo de la energía núcleo-eléctrica, aunque hubo iniciativas concretas del Estado que consideraron su incorporación, pero que fueron eventualmente desechadas.

[1] The Future of Nuclear Power, MIT 2003

[2] Las centrales nucleares actuales en operación corresponden a las de II y III generación. La centrales nucleares de IV generación se encuentran en desarrollo, y se espera que se encuentren disponibles después del año 2030 y aportarían innovaciones es seguridad de operación y reducciones en los cotos de construcción.

Este marco global está cambiando significativamente, condicionado por una preocupación mundial creciente por la producción de gases de efecto invernadero (y el consecuente cambio climático) como por la inquietud, particularmente del mundo desarrollado, por lograr una adecuada seguridad del abastecimiento energético. Esta seguridad está amenazada no sólo por el agotamiento de los recursos fósiles sino por la incertidumbre en lo que respecta al suministro de dichos combustibles, dada la importante dependencia que presenta dicho mundo desarrollado. Todo lo anterior ha generado lo que ha venido a denominarse un "renacimiento nuclear", con varios países embarcados en el desarrollo masivo de la energía nuclear y con otros considerando seriamente retirar prohibiciones que se habían impuesto al desarrollo de ella. Independiente de este renacimiento, continúan sobre la mesa temas de costos de las centrales nucleares, aspectos de seguridad y no proliferación, abastecimiento del combustible nuclear, manejo de desecho y desmantelamiento.

Esa misma preocupación ambiental y de seguridad energética surge en Chile, que en la ausencia de recursos energéticos abundantes propios (debido agotamiento de sus recursos hidroeléctricos), visualiza una importante "carbonización" de su matriz energética, que eventualmente puede impactar sus exportaciones, en un mercado internacional donde la denominada "huella de carbono" pareciera comenzar a cobrar una significativa importancia.

En ese contexto, el Estado de Chile se encuentra reevaluando[3] las oportunidades que podría presentar la energía núcleo-eléctrica, promoviendo de manera complementaria el desarrollo de sus recursos renovable. Este estudio, solicitado a Systep Ingeniería y Diseños S.A., en adelante el Consultor, busca responder a algunas de las muchas interrogantes que plantea la incorporación de la energía núcleo-eléctrica en el mercado eléctrico chileno. El objetivo principal del estudio es identificar las barreras de entrada regulatorias del mercado eléctrico que debería enfrentar la energía núcleo-eléctrica en ese mercado y analizar las implicancias que tendría el eventual ingreso de este tipo de tecnología.

En el estudio no se logra aislar del todo aspectos vinculados a barreras regulatorias del mercado eléctrico a la inversión nuclear de materias particulares de la tecnología que debiera resolver un programa nuclear; ejemplo concreto de esto son la existencia o no de voluntad gubernamental de acoger un desarrollo nuclear y de aceptación pública de este, que surgen como las primeras barreras a la inversión, aunque no sean barreras regulatorias propiamente tales.

1.2 Objetivos del Estudio

Para alcanzar el objetivo principal del estudio, se busca cumplir los siguientes objetivos específicos:

A nivel mundial, identificar los modelos de negocio predominantes de los proyectos núcleo-eléctricos.

[3] Se habla de una reevaluación pues en los años 80 fueron realizados estudios de factibilidad de la energía nuclear en el país.

Describir el proceso de toma de decisiones de inversión en el mercado eléctrico chileno dado el marco regulador vigente, y realizar un análisis de la compatibilidad con el desarrollo núcleo-eléctrico considerando los modelos de negocios descritos en el punto anterior.

Identificar barreras de entrada existentes o potenciales, relacionadas con áreas regulatorias, normativas, financieras, comerciales, técnicas, de coordinación, de tipo estratégico competitivo, entre otras a detectar, que enfrentaría la energía núcleo-eléctrica.

Identificar ámbitos y proponer cambios regulatorios para eliminar o minimizar barreras de entrada, asegurando que la energía nuclear pueda competir en igualdad de condiciones con el resto de las tecnologías presentes en el mercado.

Analizar las implicancias, desde la perspectiva del resto de los agentes del mercado y sus respuestas, de la entrada de la energía nuclear en el mercado eléctrico chileno.

En la elaboración del estudio, se buscó desarrollar al menos las siguientes actividades:

1. Revisar aspectos que no son tradicionales asociados a la energía nuclear desde la perspectiva del mercado eléctrico chileno, desarrollando una evaluación de las soluciones regulatorias internacionales con éxito comprobado y las que se propongan en el estudio. La revisión abarcará los siguientes temas:
    a. Aspectos de planificación y operación de los sistemas ante la incorporación de centrales nucleares.
    b. Garantías, seguros y otras coberturas que deben ser consideradas.
    c. Métodos para evaluar y gestionar financiamiento para manejo de desechos y repositorios.
    d. Costo de capital de los proyectos nucleares relativo a otras tecnologías. Evolución del riesgo respecto a la penetración de la tecnología nuclear. Estudio de la eventual influencia de la autoridad para ayudar a que se reduzca el riesgo del desarrollo de proyectos nucleares.
    e. Prácticas internacionales sobre estandarización de tecnologías y entrega de permisos de desarrollo de proyectos nucleares. Estudio de los plazos de desarrollo programado y efectivo de los proyectos nucleares.
    f. Regulación del ciclo de vida del combustible nuclear.
    g. Medidas preventivas para solventar del costo de clausura de una central nuclear.
    h. Presencia de la autoridad en el proceso de planificación nuclear.
    i. Presencia de la autoridad mediante subsidios u otras ayudas.
2. Determinación de Indicadores que permitan comparar la experiencia internacional de manera objetiva, con el objetivo de tomar una correcta decisión con respecto a la tecnología nuclear.
3. Analizar la regulación que rige el sector eléctrico y la inversión en proyectos eléctricos, detectando barreras potenciales y presentando propuestas de arreglos y/o ajustes. La revisión de la regulación cubrirá aspectos como la incorporación y cierre de la unidad al sistema, la operación, los ingresos y sus costos de clausura.

4. Desarrollar entrevistas a tomadores de decisión de inversión del sector energético, identificando su visión respecto a barreras regulatorias y riesgos que afecten al negocio, y exponiendo la propuesta privada de cómo mitigarlos.
5. Levantamiento y sistematización de los puntos conflictivos de la incorporación de la opción nuclear en el mercado y regulación vigente, desde el punto de vista del inversionista privado en el proceso de decisión de construir una central nuclear.
6. Descripción de los problemas detectados y plantear soluciones factibles en base a la experiencia internacional, propuestas alternativas y a la experiencia del Consultor.
7. Análisis del impacto de la entrada de un proyecto núcleo-eléctrico en el mercado eléctrico chileno, realizando una simulación a largo plazo de la operación esperada del mercado eléctrico observando el efecto en distintos indicadores.

1.3 Patrón de análisis y supuestos involucrados

El objetivo del estudio consiste en identificar las barreras de entrada que debería enfrentar la energía núcleo-eléctrica en el mercado eléctrico chileno y analizar las implicancias que tendría su ingreso en dicho mercado.

El estudio se centra en la identificación de barreras a proyectos de inversión núcleo-eléctricos y presupone que el Estado ya ha definido previamente los elementos centrales de un programa nuclear que permita sustentar el desarrollo de este tipo de centrales. Por tanto, es al amparo de tal programa que se analizan las barreras que enfrentaría un inversionista que quiera llevar a adelante un proyecto nuclear, esto es, la construcción y operación de una o más plantas nucleares. Se distingue entonces los conceptos de un programa nuclear y de un proyecto nuclear.

A fin de entender cuál es el marco supuesto para el desarrollo de un proyecto nuclear, es importante conocer cuáles son los principales aspectos que contiene un programa nuclear, según lo ha definido la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) [4]. Se debe primero realizar acciones previas al lanzamiento del programa, realizar trabajo preparatorio para el desarrollo núcleo-eléctrico luego de tomada una decisión política, para por último desarrollar actividades propias de implementación de un primer proyecto nuclear (Ver Figura 4).

[4] "Considerations to Launch a Nuclear Power Programme", International Atomic Energy Agency, Viena 2007.

Figura 4: Etapas de un Programa Nuclear

Acciones centrales de estas tres etapas son:

- Acciones previas a lanzar programa nuclear:
  - Comunicación abierta y transparente a la opinión pública, tanto nacional como internacional, referente a las ventajas y posibles desventajas de la energía núcleo – eléctrica.
  - Desarrollo de una legislación completa y efectiva sobre la legislación nuclear. Esta legislación debe definir el marco de regulación de actividades nucleares tales como la seguridad de las instalaciones, control y supervisión del cumplimento de las normativas, el tratamiento de combustibles y materiales radioactivos, la administración de desechos.
  - Desarrollo de los recursos humanos para supervisar e implementar el programa nuclear.
  - Desarrollo de un programa global para operación, manejo de residuos y desmantelamiento.
  - Asegurar recursos financieros para el desarrollo de plantas nucleares.
- Acciones una vez que la decisión política sea tomada de avanzar a un desarrollo núcleo eléctrico.
  - Implementación del marco legal.
  - Elaboración de un sistema de licencias, el cual define detalladamente los procedimientos de otorgamiento de permisos para la ubicación, diseño,

construcción, puesta en marcha, operación, cierre y desmantelamiento de centrales nucleares y repositorios de almacenamiento de desechos nucleares.

- Implementación de una institucionalidad regulatoria nuclear, la cual sea responsable de ejecutar el sistema de licenciamiento, de la supervisión y control de combustibles nucleares y el tratamiento de materiales radioactivo.
- Establecer las alternativas en que podrá ser llevado el financiamiento y operación de las plantas nucleares.
- Establecer política y esquema de manejo de desechos y desmantelamiento.
- Asegurar apoyo y compromiso de todos los agentes relevantes.

- Acciones a implementar para el desarrollo de una primera central nuclear.
  - Garantizar que el proyecto cumpla con todos los requerimientos señalados por la normativa para tales efectos.
  - Realizar estudio de factibilidad para confirmar viabilidad del programa nuclear.
  - Identificar y justificar sitios factibles para centrales nucleares.
  - Establecer política de largo plazo para adquisición de combustibles y manejo de desechos[5].
  - Identificar necesidades de desarrollo de recursos humanos para centrales nucleares.

En línea con los puntos señalados, la Comisión Nacional de Energía (CNE) ha iniciado el estudio de los aspectos claves que ayudan a definir un programa nuclear, a través de la contratación de una serie de estudios previos al presente informe, entre los cuales cabe mencionar la institucionalidad regulatoria[6], las opciones de ciclo del combustible nuclear[7] y la participación del Estado en el desarrollo nuclear[8].

Este estudio supone predefinidas varias de las acciones de las dos primeras etapas del programa nuclear arriba caracterizado y por ende asume resueltos temas como legislación, institucionalidad, sistema de licencias. Por ende, el estudio se centra en la identificación y análisis de las barreras de entrada que debería enfrentar el desarrollo de un proyecto de energía núcleo-eléctrica que quisiera ser abordado por un inversionista privado en el país. Es

[5] La política de suministro de combustible es un elemento estratégico del desarrollo de centrales nucleares y debe ser preocupación central del Estado, en acuerdo con los privados.

[6] "Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional", Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia (STUK), Marzo 2009.

[7] "Estudio de opciones de ciclo de combustible nuclear", AMEC - CADE Ingeniería y Desarrollo de Proyectos Ltda. en conjunto con AMEC Nuclear UK, Diciembre 2008

[8] "Roles del Estado y del Sector Privado en la Generación Núcleo-eléctrica: Experiencia Internacional Aplicable a Chile", Universidad Adolfo Ibáñez y SENES Consultants Limited, Diciembre 2008

decir, se identifican todas aquellas barreras que debe enfrentar un inversionista que desea participar en todas o en algunas de las etapas del proyecto, a saber, financiamiento, construcción y operación de una o más centrales núcleo – eléctricas. En esta dimensión, el estudio parte de la tercera etapa de un programa nuclear definido por la AIEA.

Para abordar el análisis se ha definido el siguiente patrón:

Primero, se ha asumido que el marco regulatorio del sector eléctrico chileno se mantiene, en cuanto la existencia de un mercado eléctrico mayorista competitivo en generación, que no privilegia unas tecnologías sobre otras, salvo el caso de las energías renovables no convencionales (ERNC), donde las inversiones son desarrolladas por iniciativas privadas, que asumen los riesgos de ellas, y donde el Estado asume fundamentalmente un rol indicativo en generación, y un rol regulatorio de la coordinación de la generación y de las actividades monopólicas de transmisión y distribución, en un esquema de libre acceso a las redes eléctricas. Es fundamental el asumir este contexto, toda vez que define la forma en que los inversionistas toman sus decisiones, lo cual permite deducir las barreras de entradas explícitas y eventuales que estos enfrentan.

Segundo, se ha definido el contexto en el que ingresaría un primer proyecto de generación núcleo-eléctrica, tanto en tamaño de mercado (demanda y capacidad instalada) como en posicionamiento económico de la tecnología nuclear frente a alternativas con combustibles fósiles (un supuesto central del estudio es que la tecnología nuclear es competitiva frente al carbón, como combustible de expansión del mercado eléctrico chileno en las próximas décadas). En este trabajo se recogen las orientaciones entregadas por la Comisión Nacional de Energía en cuanto a que el desarrollo nuclear en el país será realizado con tecnologías probadas de centrales de gran tamaño, en torno a los 1.100 MW. Sin embargo, el presente estudio en ningún caso restringe el uso de otras tecnologías que utilicen menores tamaños de centrales, las cuales incluso podrían atenuar algunas barreras identificadas.

Bajo el contexto descrito, el presente informe identifica y describe las potenciales barreras que un inversionista privado enfrentaría si decidiera invertir en una planta nuclear, señalando tanto las barreras explícitas de la legislación y regulación eléctrica vigente, como las barreras implícitas que imponen el mercado en que se insertaría el proyecto, otras regulaciones y condiciones locales.

La pregunta central que sustenta el desarrollo del estudio es la siguiente: ¿Qué se debe considerar si se decide invertir en una central nuclear en el mercado eléctrico chileno? ¿Qué es distinto y particular de lo nuclear si se compara con la decisión de invertir en una central a carbón? Las centrales nucleares en esencia son centrales térmicas similares a otras que utilizan combustibles fósiles, como el carbón, pero donde el combustible y su utilización para producir calor presenta particularidades técnicas que condicionan su proyecto, construcción y operación. Estas particularidades técnicas exigen adecuaciones a regulaciones y procedimientos, que las reconozcan en sus diferencias frente a las centrales térmicas convencionales. En el ámbito comercial y financiero las centrales nucleares no son, en esencia, diferentes de centrales a carbón de gran tamaño, con la salvedad que las grandes centrales nucleares no tienen las características de modularidad de estas últimas.

Por último, en base a un análisis de condiciones específicas relativas a la incorporación y la participación nuclear en sistemas eléctricos extranjeros, se revisa como algunas de las barreras identificadas han sido manejadas en otros países. El Consultor buscó determinar indicadores que permitieran comparar la experiencia internacional con la situación de Chile, evaluando soluciones regulatorias de países específicos que pudiesen aplicarse en el país. Sin embargo, el desarrollo nuclear internacional ha tenido su desarrollo central en condiciones regulatorias muy distintas a la de un mercado competitivo de generación como el chileno, por lo que no hay experiencias de uno o más países que puedan cotejarse completamente con el caso chileno. Reconocida esa restricción, el esfuerzo se centró en identificar cómo se han resuelto ciertas barreras específicas en algunos países con experiencia nuclear, permitiendo avizorar caminos posibles para abordarlas en el país.

Si bien el objetivo de este trabajo es analizar la regulación del mercado eléctrico y las potenciales barreras que enfrentaría un proyecto núcleo eléctrico, también se incorporan en el análisis aspectos claves relacionados con las primeras etapas de un programa nuclear, tales como el licenciamiento y la institucionalidad, toda vez que estos, de acuerdo a la forma que sean desarrollados, podrían generar barreras al proyecto en análisis.

1.4 Organización del Informe

Con el objeto de cumplir de forma ordenada con los objetivos y requerimientos de información especificados en las Bases del estudio[9], el Informe Final se organiza en los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Se indican los objetivos del estudio y la forma en que el Consultor pretende abordar su solución.

Capítulo 2: Se analiza el mercado eléctrico chileno, su regulación y su desarrollo futuro. Se caracteriza la regulación del mercado eléctrico y el proceso de toma de decisiones de inversión en generación. En base a la descripción anterior, se explica cómo se van decidiendo inversiones en el mercado y los modelos de negocio utilizados. Por último, se caracteriza la dimensión del mercado eléctrico chileno y de los sistemas eléctricos interconectados en el largo plazo (2030), que pueden motivar la incorporación de centrales nucleares.

Capítulo 3: Se describe las particularidades de un proyecto núcleo-eléctrico que pueden condicionar el surgimiento de barreras de entrada, en la medida que regulaciones y procedimientos del mercado no las reconozcan. También se describen los modelos de negocios predominantes asociados a proyectos nucleares.

Capítulo 4: Dado el marco regulatorio vigente y las particularidades nucleares, se identifican barreras existentes o potenciales que enfrentarían proyectos núcleo-eléctricos. Se identifican posibles barreras en relación a características estratégicas del proyecto nuclear (tamaño y oportunidad de la central, ubicación, conexión eléctrica al mercado, obtención de licencias y/o concesiones). Se identifican posibles barreras en relación al negocio mismo, su

[9] Resolución Exenta Nº671 bases del Estudio “Análisis y propuesta de regulación Núcleo-Eléctrica”.

financiamiento (costos y su estructura, ingresos potenciales del proyecto, alternativas de financiamiento). Se identifican posibles barreras en relación a su construcción, puesta en marcha, operación, tratamiento de desechos, cierre y desmantelamiento. Por último, relacionado a la existencia de barreras u oportunidades, se revisan temas de política energética, institucionalidad, interés del Estado y la sociedad, subsidios e incentivos.

Capítulo 5: Con el objetivo de conocer la opinión de agentes relevantes del sector eléctrico respecto a la energía nuclear, se realizaron una serie de entrevistas. Se presentan en este capítulo visiones obtenidas de dicho proceso.

Capítulo 6: Se realiza la sistematización de las barreras detectadas asociadas a la energía nuclear que fueron identificadas en los capítulos anteriores, de acuerdo al grado de impacto que generan en la toma de decisiones del inversionista.

Se estudian elementos claves de la regulación internacional, revisando la experiencia de varios países y señalando como han sido enfrentado tales elementos en la experiencia mundial. De esta manera, se analizan temas como, licenciamiento, garantías y coberturas, aceptación pública, cierre de la planta, responsabilidades público privadas en el tema nuclear, entre otros.

Capítulo 7: Se describen las soluciones propuestas respecto a las barreras identificadas para la incorporación de un proyecto núcleo-eléctrico dentro del mercado eléctrico chileno. Estas soluciones consisten en una selección de las soluciones factibles presentadas en el capítulo 6, considerando aquellas soluciones que parezcan más apropiadas para el mercado eléctrico en base a la experiencia internacional, las entrevistas realizadas a los actores del sector y la experiencia del Consultor en temas regulatorios.

Capítulo 8: Se lleva a cabo la revisión de cambios regulatorios en el marco vigente, de manera de permitir el ingreso de una central nuclear al sistema eléctrico chileno. De la revisión de los documentos anteriores, se identifican aquellos artículos que presentan debilidades frente al ingreso de una central nuclear, artículos para los cuales se propone modificaciones puntuales, en base a lo analizado a lo largo de este estudio.

Capítulo 9: Se lleva a cabo un análisis del impacto de la entrada de un proyecto núcleo-eléctrico en el mercado eléctrico chileno, realizando una simulación a largo plazo de la operación esperada del mercado eléctrico observando el efecto en distintos indicadores, tales como: costos marginales del sistema; emisiones totales de CO_2 y el efecto sobre otros agentes que operan en el mercado. Para cumplir con estos objetivos, se simula el desarrollo de un programa nuclear que se materializa en la construcción de dos centrales nucleares, de 1100 MW cada una, en el Sistema Interconectado Central a partir del año 2025. Adicionalmente se lleva a cabo análisis de sensibilidad respecto al tamaño de las centrales nucleares y respecto a un retraso en la puesta en marcha de ambas centrales nucleares.

2 EL MERCADO ELÉCTRICO CHILENO, SU REGULACIÓN Y DESARROLLO FUTURO

Chile es un país en vías de desarrollo y como tal, presenta un consumo creciente de energía. Por tanto, a pesar de la implementación de medidas de eficiencia energética; se requerirá en el largo plazo una cuantiosa incorporación de oferta eléctrica al sistema.

Chile no dispone de reservas de combustibles fósiles que permitan cierta independencia energética. Sin embargo, es un país con abundantes recursos hidroeléctricos, muchos de ellos ubicados en cuencas con características geográficas aptas para el desarrollo de la hidroelectricidad; en esta medida, la hidroelectricidad aparece como la única fuente de energía propia, abundante, renovable y de bajo costo de explotación. Sin embargo, estos desarrollos se proyectan en localidades cada vez más alejadas del mercado principal y en zonas de gran riqueza escénica, lo que ha generado discusión pública y crítica de organizaciones ambientalistas.

En este contexto, el carbón es la tecnología de generación que está presentado condiciones más favorables para su desarrollo. Si bien Chile no dispone de fuente abundantes de este combustible[10], a nivel internacional es de alta disponibilidad, hecho que sumado al bajo costo que presenta en la actualidad en los mercados internacionales, se presenta, desde el punto de vista económico, como la alternativa más competitiva. No obstante, la generación termoeléctrica mediante carbón es una tecnología que produce importantes emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, producto de lo cual, y en la medida que se desarrollen las centrales, se comenzarán a saturar localidades produciendo el agotamiento de sitios que permitan el desarrollo de nuevos proyectos.

El gas natural licuado, si bien es una alternativa de generación de menor impacto ambiental que el carbón, presenta el inconveniente de la alta volatilidad de precios a nivel internacional.

Finalmente, las ERNC tienen un potencial importante de desarrollo en el país. La zona norte del país tiene características que lo hacen parecer muy favorable desde la perspectiva de generación solar. Al mismo tiempo, existen sitios costeros a lo largo del país, favorables para el desarrollo de energía eólica. El inconveniente de ambos medios de generación mencionados es su alto costo de inversión, su bajo factor de planta (18% a 20% la energía solar y 27% la generación eólica; frente a una generación nuclear entre 85% y 90%) y escaso aporte a la seguridad del sistema eléctrico.

En este contexto es donde fuentes de generación con alta disponibilidad de entregar energía al sistema, que carecen de emisiones de gases de efecto invernadero, se hacen atractivas: la nuclear es una de ellas. Lo anterior sumado al hecho de que un alza en el precio del carbón, dados los antecedentes mencionados, hará cada vez más competitiva la operación de las

[10] Si bien Chile posee grandes reservas de carbón, este tiene como característica el ser obtenido con un mayor costo de extracción y con menor poder calorífico (sub-bituminoso), por lo que resulta más conveniente importar el combustible.

centrales nucleares. Sin embargo, la instalación de una central nuclear, particularmente la primera en su tipo que ingrese a cualquier sistema eléctrico, no se encontrará exenta de particularidades, barreras y desafíos.

2.1 Principales características de la regulación eléctrica chilena

Antes de describir el escenario del sistema eléctrico para el período de probable ingreso de una planta nuclear, resulta fundamental para el inversionista nuclear comprender el marco regulatorio nacional y las principales ideas que subyacen a él.

El marco regulatorio eléctrico considerado para este análisis, queda definido por los siguientes cuerpos legales y reglamentarios:

- Decreto con Fuerza de Ley de 2007, "Ley General de Servicios Eléctricos" (LGSE, DFL4 o Ley).
- Decreto Supremo Nº 237 de 1997, "Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos" (DS 327 o Reglamento).

Y en particular los reglamentos:

- Decreto Supremo Nº 4 de 2008, "Reglamento sobre licitaciones de suministro de energía para satisfacer el consumo de los clientes regulados de las empresas concesionarias de servicio público de distribución de energía eléctrica" (DS4)
- Decreto Supremo Nº62 de 2006, "Reglamento de Transferencias de Potencia" (DS62).

También son relevantes el marco ambiental vigente, el Decreto Supremo Nº 95 de 2001, "Reglamento de evaluación de impacto ambiental" (REIA, o DS95), y el marco legal nuclear existente, la Ley 18.302 "Ley de Seguridad Nuclear" (LSN o Ley 18.302), aunque este probablemente cambiará si se avanza a un desarrollo núcleo eléctrico

Adicionalmente, la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio de 2005 (NTSyCS) define normas específicas mencionadas en La Ley y el Reglamento, que deben cumplir las instalaciones eléctricas en la interconexión con un sistema.

Junto a lo anterior, se deben considerar los aspectos particulares de cada sistema eléctrico interconectado, los que quedan definidos en los siguientes documentos:

- Reglamentos de los Centros de Despacho Económico de Carga (CDECs).
- Manuales de operación de los CDECs.

Es importante señalar que desde la publicación del Decreto con Fuerza de Ley N°1 de 1982, en Chile opera un mercado mayorista competitivo en generación y por tanto los precios son fijados libremente por el equilibrio entre demanda eléctrica y oferta de generación.

En este ambiente competitivo, los generadores pueden acceder libremente a las redes de transmisión eléctrica, a fin de inyectar su energía a la red y así abastecer a los consumidores, siendo los propios generadores quienes deciden cuando llevar adelante sus inversiones,

escogen el tipo de tecnología a utilizar, el tamaño de sus plantas, el punto de conexión, entre otros. De esta manera, al ser absolutamente libres en sus decisiones, también asumen los riesgos que estas les puedan ocasionar.

El libre acceso a las redes, trae consigo deberes al generador que se conecta, junto con obligaciones de carácter técnico que posibilitan una operación segura del sistema. Los generadores deben concurrir en el pago del sistema de transmisión al cual se conectan. En el caso del sistema de transmisión troncal son todos los generadores quienes participan del pago, en los sistemas de subtransmisión son sólo quienes hacen uso de tales tramos, y finalmente en los tramos adicionales, que posibilitan la conexión exclusiva de un agente al sistema, son de responsabilidad del generador que los utiliza. Sin perjuicio de lo anterior, la principal obligación de los agentes que inyectan en un sistema interconectado es operar en forma coordinada, esto es, seguir las instrucciones de un operador del sistema, el cual tiene por obligación, señalar a cada unidad cuanto y cuando generar, y con ello garantizar una operación segura y económica del sistema eléctrico en conjunto.

La operación coordinada mencionada, permite al generador acceder a un mercado en el cual puede vender su energía y su potencia. La Ley establece que los ingresos por energía de cualquier central en el sistema estarán definidos por el costo marginal en su barra de inyección. Además, se define un mercado de servicios auxiliares, que no debiera tener mayor relevancia para un proyecto de esta naturaleza.

Adicionalmente, los generadores pueden suscribir contratos; que en el caso del mercado eléctrico chileno son instrumentos financieros (no imponen obligación de producción de energía – despacho); de esta forma un generador podrá vender su energía en la barra de conexión; y comprar energía en el mercado spot (a costo marginal CMg) en la barra de retiro (establecida en el contrato) para venderla al cliente en el precio acordado.

Por tanto, el margen del generador estará dado por el margen que pueda lograr en cada una de las barras donde desarrolla su negocio, esto es:

$$Margen\ del\ Generador = (CMg_{punto\ inyección} - Costo\ Variable) + (Precio\ Contrato - CMg_{punto\ retiro})$$

En esta línea, los riesgos del generador básicamente están en el costo marginal. En la medida que el costo variable de la unidad sea menor al costo variable de la unidad que margina en el sistema, mayor serán los márgenes del generador. Al mismo tiempo, se debe tener consideración especial por el precio del contrato; pues el riesgo del negocio de contratación está asociado directamente a los costos marginales del punto de retiro.

En esta medida, dependiendo de la estrategia, se pueden definir contratos ajustados a distintos esquemas comerciales. En el caso de la central en estudio, se consideran relevantes los siguientes, sobre los cuales es posible construir particularidades:

1. Contrato de venta de energía y potencia: Precio fijo, indexado de acuerdo a los criterios del generador.
2. Contrato de capacidad: Precio fijo, que rentabilice la inversión; y traspaso auditado de costos de operación.

De la revisión de los distintos mecanismos regulatorios que rigen el sistema eléctrico del país se puede apreciar que no son requeridos cambios sustanciales, encontrándose preparada la regulación vigente para el ingreso de la central, bajo algunas modificaciones propias de las características técnicas del sistema. Lo anterior se ve potenciado si se consideran los supuestos definidos para este estudio, esto es, la existencia de un programa nuclear ya implementado, la definición del tamaño por parte de la CNE, la indiferencia tecnológica, privado a cargo del desarrollo del sistema, con un regulador indicativo, entre otras.

Con todo lo anterior, la central nuclear, tal como se verá más adelante en este documento, se considerará para efectos del operador del sistema como una gran central termoeléctrica, con ciertas consideraciones técnicas y de seguridad incorporadas en la regulación correspondiente (Norma Técnica y Ley Nuclear respectivamente), con un tamaño que no resulta relevante en el mercado. Este hecho se manifiesta de forma más clara al analizar los distintos requerimientos que los aspectos regulatorios exigen a las unidades generadoras, de manera de garantizar una operación económica y segura del sistema, antecedentes que pueden ser revisados en el ANEXO I. La revisión de estos antecedentes permite concluir entonces que no existen requerimientos de modificación importantes a la regulación para el ingreso de una central nuclear.

2.2 Proceso de decisión del inversionista

Un inversionista nuclear que pretenda ingresar al mercado debiera abordar las decisiones listadas a continuación. Es importante señalar que tales decisiones no son necesariamente secuenciales, sino que dependerán de las características del desarrollador del proyecto. Así por ejemplo, un agente que posea derechos de agua por un caudal determinado, probablemente tendrá el tamaño de la central, su ubicación e incluso su punto de conexión determinado por tales derechos. Las principales decisiones son:

1. Observar el mercado, entendiendo la matriz energética del país, el crecimiento de la demanda y los proyectos en construcción y esperados a instalar en el sistema.
2. Identificar si existen oportunidades en el mercado: se proyectan nuevos requerimientos importantes de energía en el mercado; existen clientes con condiciones volátiles de precio que busquen mayor estabilidad; se proyecta vencimiento de contratos importantes; el eventual establecimiento de un mercado de carbono.
3. Identificar costos asociados a la central (inversión, costos de operación, costos de manejo de desechos, costos de desmantelamiento) y su proyección futura. Es fundamental para el inversionista tener la mejor aproximación de sus costos, esto porque serán sus costos variables los que determinen su despacho en el sistema, y por ende sus posibles ingresos bajo el esquema de ventas al mercado spot.
4. Identificar competitividad de la central en el mediano y largo plazo, y externalidades que la podrían hacer más competitiva (imposibilidad utilizar otras tecnologías-saturación carbón, premios por reducción de contaminación o impuestos al CO_2, etc.).

5. Identificar exigencias legales para la construcción (licencias, concesión, estudios ambientales, permisos).
6. Definir tamaño de la central, sitio de instalación y punto de conexión.
7. Estudiar requerimientos de transmisión. Definir sistema de transmisión dedicado.
8. Identificar factibilidad de financiamiento, coberturas y seguros.
9. Definir modelo de negocios y estrategia de minimización de riesgo comercial. Tal como se mencionó en el punto anterior, el generador podría diversificar sus ingresos a través de la firma de un contrato y de la venta de energía a costo marginal. No obstante, al requerir elevados montos de inversión o a fin de diversificar el riesgo asociado al proyecto, tema importante en el caso nuclear, el inversionista podría tomar caminos alternativos o especificidades en los ya existentes.
10. Definir fecha de inicio de construcción, puesta en marcha y operación comercial, esta decisión es fundamental, en cuanto el aprovechamiento de la oportunidad de negocio detectada en el mercado.

Las decisiones anteriores se pueden resumir en que el inversionista a través de ellas busca garantizar una cierta rentabilidad a su inversión, y por tanto el tamaño, tecnología, punto de conexión e ingreso están supeditados a las utilidades que pueda conseguir. De esta forma, el inversionista reconociendo su estructura de costos, debe observar cual será el perfil de precios esperados durante el horizonte de estudio, el cual estará determinado por los contratos que haya logrado comprometer para suministro en el futuro y por la evolución de los costos marginales. En dicha evolución, interviene la capacidad instalada y la evolución de la demanda, toda vez que los precios fijados por equilibrio de mercado, así un parque hidráulico muestra costos marginales menores que un parque térmico. Entonces, la adecuada visión del mercado, esto es, la correcta determinación de la proyección de demanda, la correcta anticipación a los movimientos del resto de los agentes, permitirá al inversionista maximizar sus utilidades.

2.3 Participación del Estado como socio de empresas eléctricas

En el mercado eléctrico chileno la participación del Estado en el segmento de generación se concentra en aspectos regulatorios y de fiscalización. Organizaciones públicas, como la CNE, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y los Ministerios de Energía y Economía, se concentran en la operación segura de las centrales, resguardando que exista un ambiente competitivo en el sector.

El Estado de Chile no es propietario de ninguna instalación de generación eléctrica en forma directa. En este sentido, son los privados los encargados de decidir donde, cuando y como realizarán las inversiones en el sector. Si bien la CNE debe determinar periódicamente planes de obra en generación, estos sólo tienen carácter referencial, siendo utilizados oficialmente sólo para el cálculo de los Precios de Nudo y como base para el Estudio de Transmisión Troncal.

No obstante lo anterior, el Estado participa de forma indirecta en la propiedad de instalaciones de generación y otras relacionadas con el sector eléctrico. La Corporación Nacional del Cobre (Codelco) es la principal empresa pública de Chile, la cual contiene entre sus empresas coligadas a ElectroAndina S.A. (67%[11]), Energía Minera S.A. (99%) y a la Sociedad GNL Mejillones[12] (50%). Cabe destacar, que la participación del Estado en estas empresas no implica que sus operaciones estén determinadas directamente por el gobierno, canalizando su influencia a través de la participación de miembros del gobierno en el directorio de la empresa.

El Estado participa además en la propiedad de activos de generación conectados en el SING a través de la empresa ElectroAndina S.A., empresa que actualmente posee 11 unidades de generación, lo que la convierte en la principal empresa generadora del SING, aportando el 28% de la capacidad instalada del sistema. Cabe destacar que en el año 2000 ElectroAndina S.A. adquirió la empresa distribuidora de gas natural Distrinor, la cual cuenta con una participación mayoritaria en el mercado de la zona norte del país.

La empresa Termoeléctrica Energía Minera S.A., actualmente no cuenta con activos de generación, no obstante cuenta con el Estudio de Impacto Ambiental aprobado para la construcción de tres unidades a carbón de 350 MW ubicadas en entre las comunas de Puchuncaví y Quintero, con una inversión total de 1700 MM USD. El proyecto es llevado a cabo mediante un proceso de licitación pública, de manera que un tercero desarrolle el proyecto. Originalmente el proceso de licitación se contempló de manera exclusiva para agentes que no tuvieran un 10% de participación del mercado, con el objetivo de fomentar la competencia. No obstante lo anterior, en septiembre de 2009 la empresa Colbún y Codelco acordaron una opción de compra de los activos del proyecto de Energía Minera S.A.

Finalmente, el Estado participa a través de Codelco en la Sociedad GNL Mejillones, cuya propiedad es compartida en partes iguales con GDF Suez. Actualmente la Sociedad está desarrollando el proyecto de la planta de GNL en la bahía de Mejillones, el que implica una inversión de 500 MM US y tendrá una capacidad de inyectar hasta 5,5 millones de m^3 diariamente (equivalente a la generación de 1.100 MW en forma continua)[13]. La fecha esperada para el inicio de sus operaciones es el primer trimestre del año 2010.

Se observa entonces como una empresa Estatal como Codelco ha desarrollado proyectos enfocados a fomentar la competencia en el mercado eléctrico, contribuyendo además a mejorar la seguridad del abastecimiento energético.

Los antecedentes anteriores son importantes al momento de analizar como alternativa factible la participación del Estado en un eventual proyecto nuclear, materia que se analiza más adelante.

[11] Propiedad consolidada, es decir propiedad directa más la contenida en la Sociedad Inversiones Tocopilla Limitada. El resto de la propiedad lo posee el grupo Suez-Tractebel.

[12] Codelco además es propietario (99,99%) del Complejo Portuario Mejillones S.A.

[13] http://www.gnlm.cl/sitio/html/empresa.htm

2.4 Incentivos del Estado a tecnologías de generación

En Chile, la decisión de la inversión en activos de generación está en manos de los privados. Aunque la concepción inicial del marco regulatorio consideraba neutralidad del país en relación a las tecnologías de generación, recientemente se han implementado medidas que incentivan la inversión en ciertas tecnologías. Esto se ha realizado para las denominadas Energías Renovables No Convencionales (ERNC)[14].

Un incentivo exclusivo para las ERNC se constituye en el artículo 150º bis de la LGSE, donde se establece la obligación por parte de todos los generadores, de acreditar que un porcentaje de la energía comercializada provenga de medio de generación en base a ERNC. El no cumplimiento de esta obligación es castigado mediante un sistema de multas.

Adicionalmente, el Estado ha decretado medidas para reducir los costos relacionados con los peajes del sistema de transmisión. La LGSE en su artículo 79º establece que los propietarios de los medios de generación que utilicen ERNC y de instalaciones de cogeneración eficiente, cuyos excedentes de potencia suministrada al sistema sea inferior a 20 MW[15], estarán exentos del pago total o de una porción de los peajes por el uso que las inyecciones que esos medios de generación realizan hacia los sistemas de transmisión troncal. Los montos totales que representan los peajes de transmisión troncal exceptuados de pago en virtud de la aplicación de este beneficio, deben ser pagados por las demás empresas que efectúan inyecciones de energía al sistema, a prorrata de dichas inyecciones.

Por otro lado, se observa la tendencia global hacia la búsqueda de medida de mitigación del calentamiento global, hecho que podría implicar la creación de incentivos de inversión en medios de generación con bajas emisiones de gases invernadero, como por ejemplo la energía nuclear. Una de las medidas internacionales de mitigación de emisiones de gases invernadero consiste en el cobro de aranceles diferenciados para algunos productos, de acuerdo a la huella de carbono que presenten los países de origen. Esta medida podría afectar las exportaciones del país, con lo que grandes clientes podrían tener los incentivos para desarrollar proyectos o contratar generación eléctrica con bajas emisiones de agentes contaminantes. Otras medidas de mitigación de frente al cambio climático, consiste en incorporar penalizaciones a las emisiones de carbono a la atmósfera[16].

De acuerdo a estas consideraciones, el Estado podría formular incentivos para la inversión en proyecto nucleares, aunque esto claramente terminaría por quebrar absolutamente la neutralidad tecnológica, produciendo una intervención fuerte en el mercado, desvirtuando el espíritu original del marco regulatorio vigente.

---

[14] Los cuales se definen como aquellos cuyos medios de generación provengan de biomasa, geotérmica, eólica, solar, mareomotriz e hidráulica menor a 20 MW.

[15] Pueden incluirse otras tecnologías similares determinadas fundadamente por la CNE.

[16] A través de esquemas como impuestos al carbono (Carbon Tax), mercado de intercambio de emisiones (Cap & Trade), otros. Fuente: Financing New Nuclear: The Federal Government's Role in the Nuclear Renaissance August 2009

2.5 Caracterización del mercado eléctrico chileno en el largo plazo

Para efectos de contextualizar el análisis de identificación de barreras de entrada, a continuación se realiza una representación del mercado eléctrico en el largo plazo. El escenario en que se enmarca este estudio, considera un periodo de tiempo a lo menos cercano o posterior al año 2030, fecha desde la cual sería más probable la inclusión de una central nuclear. Esta consideración implica que barreras relacionadas con el tamaño del mercado[17] no serán consideradas en este estudio.

2.5.1 Proyección del Sistema

El sistema eléctrico chileno, en particular el sistema interconectado central actualmente dispone de una capacidad instalada de generación de 11.067 MW (49% hidro y 51% térmico). La demanda máxima del año 2008 correspondió a 6.147 MW. Si bien hoy existe un margen amplio entre oferta y demanda, se debe tener en consideración que la holgura de oferta existente corresponde a centrales térmicas que utilizan diesel como combustible.

Respecto al consumo, la tasa de crecimiento agregada durante los últimos 10 años ha sido 5%; por tanto, es de esperar que en los próximos 20 años se requieran nueva capacidad por 14.000 MW. En ese contexto, el 2020 se requeriría una capacidad instalada de 17.000 MW y al 2030 una capacidad de 25.000 MW con un 53% de la demanda centrada en la Región Metropolitana.

Es importante entender cómo se desarrolla hoy uno de los principales sistemas eléctricos en Chile, el Sistema Interconectado Central (SIC), y cómo se espera que este mercado evolucione en los próximos diez a veinte años; pues el resultado de esta evolución será el punto de partida que observará un inversionista que pretenda desarrollar un proyecto nuclear en el país.

Al año 2020 el 53% de la demanda estará ubicada en la zona comprendida entre la V y VIII región. Al mismo tiempo, esta zona concentra parte importante de la generación. Desde la V región al norte, se concentraría el 25% de la demanda y de la VIII región al sur el 22% de la demanda. En el extremo norte del país se produciría un desarrollo importante de generación a carbón; y probablemente ERNC (eólica). Hacia el sur la generación sería sólo hidráulica.

Desde el punto de vista de capacidad de los sistemas de transporte de energía, al día de hoy la perspectiva observada en las distintas revisiones que se han desarrollado del sistema de transmisión troncal, con un horizonte de largo plazo, permiten proveer que se incrementará de manera importante la capacidad de transmisión en la zona central. Hacia los extremos si bien los sistemas proyectan ampliaciones, se tratan de sistemas que en los próximos 10 años estarían llegando a una capacidad de transporte de unos 800 MVA (sin consideraciones de seguridad N-1).

[17] Considerar que como recomendación de la IAEA, la participación de un reactor nuclear no debe superar el 10%. Actualmente esta condición no es cumplida considerando reactores nucleares de potencia de tecnología consolidada y el tamaño presente del mercado.

Más allá del 2020, la inyección de una central de 1000 a 1500 MW en los extremos del SIC necesariamente produciría un desequilibrio zonal oferta-demanda, una situación similar se encuentra hoy en dos puntos relevantes del sistema:

1) Zona de Charrúa y su exportación de energía hacia Santiago.
2) Proyecto Aysén y la inyección directa a Santiago.

Es en este escenario, en el cual la capacidad de transmisión desde el norte, donde podrían ubicarse desarrollos nucleares, no sería suficiente, por lo que debiesen construirse líneas adicionales, radiales que tengan uno o más puntos de inyección al sistema actual.

Desde el punto de vista de los clientes el consumo eléctrico en el SIC evolucionará de acuerdo a lo ilustrado en la Tabla 2. En la misma tabla se presenta una estimación de su evolución al año 2020 y 2030.

Tabla 2: Evolución demanda clientes libres y regulados

	2010		2020		2030	
	ENERGÍA [GWH]	DEMANDA [MW]	ENERGÍA [GWH]	DEMANDA [MW]	ENERGÍA [GWH]	DEMANDA [MW]
CLIENTES REGULADOS	25.030	3.841	40.259	6.177	59.594	9.144
CLIENTES LIBRES	17.419	2.673	28.017	4.299	41.473	6.363

Los clientes regulados son abastecidos por empresas distribuidoras, cuyo consumo proyectado para plazo de incumbencia de este estudio se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Evolución consumo empresas distribuidoras

EE.DD.	2010 [MWH]	2020 [MWH]	2030 [MWH]
CHILECTRA	12.119.475	19.493.187	28.854.679
CGE	6.884.566	11.073.263	16.391.134
CHILQUINTA	2.772.610	4.459.517	6.601.174
SAESA	1.947.669	3.132.667	4.637.112

Finalmente, es importante destacar la señal sobre el mercado eléctrico que produce la instalación de una central de estas características. Es posible que los inversionistas en generación, en la medida que los precios proyectados en el mercado producto de la inserción de la central nuclear no sean atractivos (disminuyan) y se aumente el riesgo (variabilidad), suspendan inversiones en un período previo (por ejemplo 5 años) de la fecha de entrada de la central; aumentando los riesgos sobre el objetivo de lograr un abastecimiento energético económico y seguro.

2.5.2 Condiciones que pueden motivar la incorporación nuclear

La visión de desarrollo del sistema al año 2020 se podría considerar relativamente definida en función de lo que se ha podido observar en los distintos estudios y revisiones del sistema de trasmisión troncal. La principal fuente de incertidumbre que se podría encontrar está relacionada con el desarrollo del proyecto hidroeléctrico HidroAysén. En la medida que dicho proyecto se materialice se podrá desplazar, en mayor o menor medida, generación basada en carbón proyectada en la costa de la III, IV, V, VII y VIII región.

Posterior al año 2020, las alternativas de expansión de generación no están definidas y se deben estudiar otras alternativas; dentro de la cuales, la generación nuclear toma relevancia. En este sentido, es importante identificar las motivaciones posibles en el desarrollo de la

energía nuclear en un país como Chile. En este contexto, se distinguen tres principales motivaciones:

1.- *Respuesta al crecimiento natural de la demanda:* En este caso, los potenciales inversionistas proyectan que se materializará un crecimiento de la demanda importante que, por su tamaño, permite el ingreso de una central nuclear. Sin embargo, se enfrenta a la incertidumbre que el crecimiento de la demanda sea menor al esperado durante el tiempo que toma desarrollar el proyecto; además, durante el período puede desarrollarse nueva capacidad de generación que le arrebate una porción del mercado (como referencia, durante el período de construcción de una central nuclear podrían ser construidas dos a cuatro centrales a gas o carbón secuencialmente).

2.- *Cobertura de precios y reemplazo de combustibles fósiles:* muchos países (entre ellos EEUU, Finlandia) han buscado el reemplazo de una tecnología con alta volatilidad en sus costos de generación (gas); contribuyendo a una mayor seguridad energética. Chile podría también enfrentar a futuro un alza de los precios de su combustible preferido, el carbón. En este escenario, el generador no enfrenta una incertidumbre en el crecimiento de la demanda; pues la motivación de materializar el proyecto es el reemplazo de generación que existe, pero no presenta condiciones favorables para sus clientes.

3.- *Reducción de emisiones de gases invernadero*: Países industrializados han comprometido metas para reducir sus emisiones de gases invernadero. Algunos de estos países han tomado a la energía nuclear como una de las medidas para lograr los objetivos planteados. Por otro lado, la creación de impuestos por emisiones de tonelada equivalente de carbono puede empujar por el lado de la demanda el desarrollo de proyectos nucleares, dados los altos costos de inversión y operativos que originen estos impuestos.

Se debe señalar que estas alternativas presentan un riesgo similar respecto a la incertidumbre en los costos de operación y, por ende, la competitividad de la generación nuclear en el largo plazo en el mercado.

3 CARACTERIZACIÓN DE UN PROYECTO NUCLEAR PARA OBJETOS REGULATORIOS

En términos prácticos, una central nuclear es una instalación industrial empleada para la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear, a través del uso de materiales fisionables que mediante reacciones nucleares proporcionan calor. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica, característica común con las centrales térmicas convencionales que utilizan combustibles fósiles, como por ejemplo el carbón.

No obstante lo anterior, existen características que le son únicas a una central nuclear, y que las distinguen del resto de las tecnologías. Entre ellas se destaca una mayor capacidad de generación, intensivas inversiones y la utilización de combustible que requiere complejas medidas de seguridad antes, durante y después de su correspondiente utilización. Estos aspectos condicionan un proyecto nuclear en su desarrollo y definición de modelo de negocios. En las siguientes secciones se describen sus principales aspectos no tradicionales y modelos de negocios asociados a las centrales nucleares de potencia.

3.1 Aspectos generales de un proyecto nuclear

3.1.1 Variedad de tecnologías de reactores nucleares.

Actualmente existen diversas opciones tecnológicas para la elección del reactor que es utilizado en las centrales nucleares de potencia. Los tipos de reactores más utilizados corresponden a los Pressurized Water Reactor (PWR), seguido por los Boiling Water Reactor (BWR) y los Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR o también conocido como Canadian Deuterium natural Uranium o CANDU)[18].

La elección de la tecnología en un programa nuclear o en un proyecto especifico condiciona aspectos estratégicos tales como: la elección del tamaño; el tipo de combustible nuclear requerido y otros insumos (por ejemplo el agua pesada); el tiempo de espera para acceder a la compra del reactor mismo; la periodicidad de los mantenimientos; el acceso a recursos humanos para su operación; manejo de aspectos de seguridad y obtención de licencias; y obviamente la inversión y los costos operacionales.

Dentro del mercado eléctrico, el tamaño del proyecto consiste en una decisión clave para el inversionista, la cual depende de la disponibilidad del insumo primario para la generación (por ejemplo derechos de agua, viento, otros). En el caso de proyectos térmicos basados en combustibles fósiles, existe una gran flexibilidad para determinar el tamaño de una central. Lo anterior dado que el proyecto puede realizarse modularmente, pudiendo instalar unidades distribuidas en el tiempo en función de las oportunidades comerciales que se presenten. Un ejemplo de este modelo corresponde a la central Guacolda, la cual ha desarrollado a la fecha

[18] Más detalles sobre la diferencia entre estas tecnologías se recomienda revisar: Estudio de opciones de ciclo de combustible nuclear, Amec-Cade (2009).

tres unidades de aproximadamente 150 MW, las cuales han sido construidas por etapas. La cuarta unidad de esta central está en etapa de construcción.

La actual tendencia respecto a la capacidad de los reactores nucleares da cuenta del desarrollo de reactores de mayor tamaño (por sobre los 1.000 MW)[19]. Los grandes tamaños que actualmente se manejan se fundamentan en la estandarización y economías de escala producidas. Algunos ejemplos de nuevos diseños de reactores son: el AP1000 desarrollado por Westinghouse; el European Pressurized Reactor EPR de 1.600 MW de Areva y el AP1400 de diseño coreano.

3.1.2 Intensivo requerimiento de capital y bajos costos operacionales.

Desde el comienzo de su utilización comercial, el costo unitario de inversión de centrales nucleares de potencia ha sido superior al del resto de centrales de generación. En la actualidad existen diversos estudios que permiten comparar los costos de inversión de distintas tecnologías. A modo de referencia, el MIT[20] considera un costo de inversión overnight[21] de 4.000 USD/kW[22] para proyectos nucleares versus 2.300 USD/kW y 850 USD/kW para proyectos a carbón y gas respectivamente. Tomando en cuenta entonces los altos costos de inversión unitaria y las magnitudes en capacidad considerados para los nuevos diseños de reactores nucleares de tecnologías consolidadas, es que se puede concluir que los proyectos nucleares requieren de un intensivo uso de capital necesario para su desarrollo.

Por otro lado, el costo de operación de estos proyectos es relativamente bajo en comparación a otras centrales térmicas. Lo anterior se presenta como uno de los principales atractivos de la alternativa nuclear. Adicionalmente la distribución geográficamente uniforme de fuentes de uranio en el mundo, y el hecho que existan diversos proveedores de combustible nuclear, entrega cobertura frente a la seguridad de suministro, además de entregar estabilidad a los precios de la energía producida por esta fuente. Esto contrasta con la situación que enfrentan otras tecnologías tradicionales de generación, altamente dependientes del precio de sus insumos principales de generación.

De esta forma, el costo de inversión en promedio para una central nuclear representa cerca del 70% del costo de desarrollo del proyecto. Del restante porcentaje, un 15% corresponde al costo variable combustible y el otro 15% a costos de operación y mantenimiento[23]. Esta

[19] No obstante, actualmente existen esfuerzos para el desarrollo de reactores nucleares de pequeña y mediana escala. Algunos prototipos existentes a la fecha corresponden a: Toshiba 4s (Super Safe, Small and Simple) 10 MW, Hyperion 25 MW, NuScale 40 MW, Pebble Bed Modular Reactor 200 MW.

[20] The Future of The Nuclear Power, MIT (update 2009). Precios de referencia al año 2007.

[21] Costos de inversión sin considerar los plazos de tiempo necesarios para la construcción.

[22] Debido a la falta de desarrollo reciente de centrales nucleares de potencia en occidente, estos costos se fundamentan en la experiencia de las últimas centrales desarrolladas en Asia, principalmente en Japón y Corea del Sur.

[23] Referencia MIT anterior (2009)

estructura de costos determina entonces que el costo de desarrollo del proyecto sea poco sensible al precio del combustible nuclear, de hecho un cambio en un 20% del precio del combustible sólo provocaría un 3% de cambio en su costo de desarrollo.

3.1.3 Largos tiempos de construcción y de vida útil.

El desarrollo de centrales nucleares de potencia consideran largos tiempos de construcción esperados, los que usualmente consisten entre los 4 a los 6 años. No obstante, algunos proyectos han tardado más de 20 años en su construcción. Esto se explica principalmente al hecho que la construcción de este tipo de proyectos corresponde a un proceso complejo, que requiere materiales y recursos humanos altamente especializados. Adicionalmente, las exigencias y condiciones de seguridad nuclear impuestas por el regulador, dado el manejo de materiales reactivos, agregan mayores obstáculos al proceso. Esto se agrava cuando dichas exigencias y condiciones cambian durante el periodo de construcción de la central.

La complejidad presentada en la etapa de construcción expone al proyecto a riesgos de retrasos. De hecho, el tiempo promedio histórico de construcción de centrales supera los 8 años. Cabe considerar que el primer proyecto que se desarrolle en un país se verá expuesto a un mayor riesgo que el que enfrentarán sus sucesores, dado principalmente por retrasos provocados por la aplicación de normas de seguridad no probadas en la práctica con anterioridad y en general por la inexperiencia del país respectivo en el desarrollo de este tipo de proyectos.

Adicionalmente, los actuales de proyectos nucleares consideran diseños que estiman largos periodos de vida útil. Las centrales nucleares existentes son construidas con el objetivo de operar por 40 o hasta 60 años. No obstante lo anterior, la operación de las centrales nucleares se encuentra sujeta a los controles periódicos por parte del regulador, el cual busca asegurar que el proyecto se encuentre en condiciones de operar de manera adecuada, bajo los criterios de seguridad requeridos, durante la totalidad de su vida útil esperada.

3.1.4 Tecnología de baja emisión de gases de efecto invernadero.

A nivel mundial, existe el consenso que la amenaza del calentamiento global es un tema que debe ser tratado activamente por los gobiernos tanto de países en desarrollo como emergentes, situándolo en un tema de relevancia global.

En este contexto, las centrales nucleares de potencia cumplen con ser centrales térmicas de bajo impacto en emisiones de efecto invernadero, siendo reconocida como un medio de generación con tasas de emisiones de gases de efecto invernaderos comparables o incluso mejores respecto a la energía hidráulica y la eólica[24]. Bajo estas consideraciones, la energía nuclear se presenta como una opción para la mitigación del calentamiento global, la que debe ser estudiada en igualdad de condiciones que el resto de soluciones factibles para este problema. En este sentido, las centrales nucleares pueden mejorar su competitividad en la medida que el precio del carbón aumente al incorporar dentro de sus costos las externalidades ambientales.

[24] Some policy challenges of a global nuclear renaissance (2004)

3.2 Requerimientos especiales de un proyecto nuclear.

3.2.1 Necesidad de autorización y respaldo del Estado, y la influencia de aceptación pública.

En forma particular, para el desarrollo de un proyecto nuclear se requiere de la aprobación y el compromiso tanto de la ciudadanía como del Estado respectivo. Lo anterior se debe principalmente a que su desarrollo compromete a la seguridad nacional, y por tanto se deben considerar medidas especiales dentro de un marco regulador, definiendo a la vez una institucionalidad independiente que garantice el cumplimiento de tales medidas. En este sentido, una vez definida una política de Estado a largo plazo, en vías de permitir o impulsar la energía nuclear, se debe concebir un marco regulatorio y reglamentario que establezca las condiciones para su operación, con el objetivo de preservar la seguridad de la población y el medioambiente. Un eventual cambio en el marco regulatorio, puede afectar directamente a la competitividad del proyecto, poniendo en riesgo su materialización. Bajo la experiencia internacional, la definición del marco regulador y la institucionalidad para la energía nuclear es usualmente implementada mediante un programa nuclear, el que puede abarcar varias décadas, dada la complejidad del tema[25].

La aprobación de los poderes del Estado puede ser otorgada de forma indirecta, estableciendo condiciones técnicas generales para la aprobación de permisos para cada proyecto que los requiera. Por otro lado, algunos países requieren que cada proyecto sea aprobado por permisos de carácter político, adicionales a los técnicos, los que son emitidos ya sea por el Congreso o por algún Ministerio. En este sentido, es común el establecimiento de una "decisión en principio"[26], lo cual consiste en una decisión tomada por algún poder del Estado, usualmente el Congreso, para efectuar una acción que es del interés general de la sociedad. Una "decisión en principio" es aplicada bajo el requerimiento de un interesado hacia el gobierno, y debe ser estudiado por los organismos responsables, evaluando el beneficio del proyecto en base a la descripción realizada por el postulante. La aprobación de la "decisión en principio" permite que el proyecto prosiga con la realización de estudios específicos y la consecuente obtención de las licencias respectivas.

Al mismo tiempo, se debe considerar que la voluntad política para implementar o proseguir con el programa nuclear está influenciada por el nivel de aceptación pública hacia la energía nuclear. Dada la importante componente hidroeléctrica del país, con su consecuente externalidad sobre las zonas aledañas a las plantas, es que los temas de aceptación pública para la construcción de centrales de generación de energía no resultan nuevos. En el pasado centrales como Colbún, Ralco, y actualmente el proyecto de generación de HidroAysén se han visto enfrentadas a estos problemas a lo largo de las distintas etapas de sus proyectos.

[25] Roles del Estado y del sector privado en la generación núcleo-eléctrica Experiencia internacional aplicable a Chile, Universidad Adolfo Ibáñez- SENES (2009).

[26] Del inglés "decision in principle".

En particular, la regulación eléctrica chilena no hace referencia alguna respecto al fomento de la aceptación pública de los proyectos, dejando en manos de los privados campañas de publicidad y planes de acción efectivos para adecuar la aceptación de sus proyectos de generación. No obstante lo anterior, la próxima entrada al Senado del proyecto de ley de compensaciones municipales por proyectos eléctricos se vislumbra como una señal de participación de la regulación en los procesos de aceptación pública de proyectos de centrales generadoras[27].

Sin embargo, esta medida no resulta suficiente en el caso particular de centrales nucleares, proyectos que históricamente han presentado una tendencia a un mayor rechazo público[28], principalmente por los impactos causados por eventuales accidentes y los temas con competen a los desechos nucleares. En este sentido, actualmente no existe en la regulación vigente incentivo alguno a desarrollar herramientas para temas referidos a aceptación pública.

3.2.2 Permisos otorgados por esquema de licencias.

En base a convenciones internacionales los proyectos de centrales nucleares de potencia requieren de permisos especiales otorgados mediante un sistema de licenciamiento (ver sección 4.4.1). Este sistema otorga los permisos para llevar a cabo la ejecución de las distintas etapas de desarrollo del proyecto:

- Emplazamiento: entrega el permiso para localizar una instalación nuclear dentro de un determinado terreno. Para poder otorgar este tipo de permiso se deben estudiar diversos factores que pueden afectar la seguridad de las instalaciones del proyecto, tales como: terremotos; eventos meteorológicos; deslizamientos de tierra; eventos externos causados por humanos; la eventual dispersión de materiales radioactivos por la atmosfera; superficie y cursos de agua; distribución de la población; y los tipos de uso de los terrenos aledaños entre otros.
- Diseño: tiene como objetivo aprobar el diseño de la planta nuclear, específicamente aprueba la tecnología asociada a las medidas de seguridad del reactor nuclear. Cabe destacar que las distintas tecnologías de reactores nucleares (ver sección 3.1.1) requieren de distintos tipos de equipos y procedimientos de seguridad, dados los distintos tipos de materiales y sistemas usados como moderadores y enfriadores del reactor nuclear.
- Construcción: aprueba las obras para la construcción de una central nuclear, resguardando que se realicen de acuerdo al diseño aprobado. Para lograr este objetivo, durante la ejecución de las obras se realizan inspecciones por parte del organismo fiscalizador responsable.

[27] Proyecto de ley que establece el pago de compensaciones a las comunas que acojan a empresas generadoras de electricidad. El monto propuesto es de 270 UTM por cada megawatt instalado, adicionalmente se contempla un cambio en el pago de las patentes municipales de estas empresas.

[28] Review of drivers and barriers for nuclear power in the UK, Greenhalgh y Azapagic (2009).

- Puesta en servicio: establece un programa para la realización de pruebas de seguridad antes de iniciar la operación a plena carga. Dentro de los aspectos que regula esta licencia se destacan la primera carga de combustible y funcionamiento del reactor.
- Operación: aprueba la operación de la central nuclear de potencia, la cual debe cumplir con una serie de condiciones. Una de estas condiciones es la necesidad de autorizaciones para la partida y operación de la central nuclear. Por otra parte, esta licencia también contiene exigencias para la realización de mantenimientos.
- Desmantelamiento: esta licencia establece el permiso para realizar el cierre de la planta, el desmantelamiento de sus instalaciones y realizar el restablecimiento del terreno utilizado.

Para la aprobación del permiso de cada etapa, el sistema de licenciamiento evalúa criterios de seguridad que deben cumplidos, y a la vez establece "condiciones pendientes"[29] que deben ser efectuadas con el objeto de preservar dicha aprobación.

El proceso de obtención de licencias es exclusivo para centrales nucleares y, dada su complejidad, puede implicar mayores tiempos para el desarrollo de cada una de las etapas que considera la realización del proyecto.

En el caso particular de las centrales nucleares, la LSN establece la necesidad de obtener licencias[30] para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de sus instalaciones. El otorgamiento de dichas licencias es actualmente responsabilidad de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). Adicionalmente, la misma LSN establece que las centrales nucleares de potencia deben ser autorizadas por un permiso de tipo político otorgado por el Ministerio de Economía (ver sección 4.1.1).

El artículo 13º de la LSN establece además que las licencias otorgadas por la CCHEN sólo serán revocadas en caso de que no sean cumplidas las exigencias contenidas en ellas mismas, en la ley o en los reglamentos respectivos. Por cualquier motivo, la revocación de las licencias debe ser justificada, pudiendo el titular apelar a tales decisiones.

Por otro lado, las licencias no pueden ser renunciadas anticipadamente por parte de sus titulares, a menos que existan los resguardos y garantías suficientes a juicio de la CCHEN. Esto implica que el titular de la licencia no puede librarse unilateralmente de cumplir con las obligaciones que los permisos definan y de la respectiva responsabilidad civil que les compete (ver sección 3.2.6).

Respecto a los requerimientos que implica la cesión de las licencias para una central nuclear, la LSN establece como enfoque central la exigencia de condiciones que permitan preservar

[29] El término en inglés corresponde a hold-points.

[30] Este término está definido en el articulo Nº3 de la LSN como: "una autorización o permiso otorgado por la Comisión (CCHEN), a petición de un solicitante, para que éste pueda ejecutar actividades específicas, relativas a la energía nuclear, en instalaciones nucleares o con sustancias nucleares. No obstante lo anterior, aún no se encuentra definido el sistema de licencias propiamente tal, el que debe establecerse mediante la publicación de un reglamento específico.

un medio ambiente libre de contaminación. Sin embargo las formalidades y condiciones para el otorgamiento de las licencias para centrales nucleares de potencia deberían estar contenidas en un reglamento, el cual a la fecha no existe, situación que aumentaría la incertidumbre respecto a los requerimientos del diseño del proyecto y a los tiempos y costos asociados al proceso de obtención de estos permisos.

3.2.3 Recursos humanos altamente especializados.

La experiencia internacional indica que la organización responsable de una planta nuclear debe ser conformada por entre 200 y 1000 personas[31]. Cabe destacar que el número de trabajadores que conforman estos equipos depende del tamaño de la central considerada y del número de reactores que se encuentren operando en el país, debido a que pueden producirse importantes economías de escala. Esto principalmente en lo referido a equipos de mantenimiento de la central.

Los recursos humanos requeridos para un proyecto nuclear consisten en un equipo multidisciplinario con conocimientos especializados en el ámbito científico, de la ingeniería y de nivel técnico. Además se presenta la necesidad de la educación teórica de profesionales y técnicos en algunos cargos de relevancia, para lo cual se requiere de entre 1 a 3 años de entrenamiento especializado. Los países que planifiquen la construcción de su primer reactor nuclear requieren acceder a la formación de recursos humanos en el extranjero mediante acuerdos bilaterales y opcionalmente con la ayuda de organizaciones internacionales. Referente al entrenamiento especializado, una opción probada en la experiencia internacional consiste que éste sea provisto por el mismo suministrador del reactor nuclear, a través de acuerdos de transferencia de tecnología incorporados en los contratos, ya sea con el mismo desarrollador de la tecnología, o países con experiencia internacional que se vean interesados en apoyar un programa nuclear fuera de sus fronteras.

De forma adicional a los conocimientos de carácter técnico, se presenta la necesidad de establecer cualidades como rigurosidad, cultura, ética y disciplina para administrar de manera efectiva la tecnología nuclear, respetando las normas de seguridad y de no proliferación de armamento nuclear establecidas por cada país.

3.2.4 Tratamiento de desechos nucleares.

La operación de las centrales nucleares de potencia genera desechos de distinto grado de radiactividad. La clasificación de los desechos nucleares no es totalmente consistente a nivel mundial, sin embargo usualmente se consideran tres categorías: bajo, medio o alto nivel de radioactividad. Cabe destacar que los desechos de alto nivel de radioactividad corresponden a un porcentaje equivalente a un 1% del total de los desechos radiactivos. No obstante, el tratamiento de los desechos de este tipo resulta de gran complejidad dado que su radioactividad puede durar miles de años.

[31] Considerations to Launch a Nuclear Power Programme, IAEA (2007)

En forma general, los desarrolladores de los proyectos nucleares son los encargados de proveer los medios necesarios para que los desechos radiactivos no produzcan daños al medioambiente. Respecto al tratamiento de los desechos de bajo y medio nivel de radioactividad, estos son usualmente almacenados ya sea dentro de las instalaciones del reactor o en instalaciones especialmente adaptadas para su almacenamiento. En el caso de los desechos de alto nivel de radioactividad, no existe una solución definitiva implementada. Los esfuerzos en la actualidad están concentrados en lograr la construcción de repositorios subterráneos en formaciones geológicas que garanticen el almacenamiento seguro y permanente de los desechos nucleares.

El marco regulatorio vigente considera el hecho de que estos desechos deben tener un adecuado almacenamiento, con el objetivo de resguardar la seguridad medioambiental. El tratamiento de los desechos radiactivos es cubierto dentro de la ley 18.302 (LSN), la cual, en su artículo 9º, establece que la responsabilidad del desarrollador del proyecto es proveer de los medios necesarios para el tratamiento o almacenamiento definitivo de los desechos radiactivos. En este sentido, el artículo 4º obliga a una licencia para la construcción de instalaciones para éste fin. El mismo artículo permite otorgar autorizaciones para el almacenamiento de desechos nucleares o radiactivos dentro el territorio nacional, solo en el caso que hayan sido producidos en el mismo lugar en que se emplaza la planta. Complementariamente, el artículo 32º indica que la responsabilidad de la mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radiactivos de larga vida recae en la Comisión Chilena de Energía Nuclear. En los demás casos, los depósitos de desechos radiactivos serán responsabilidad de la persona que los tenga a su cargo.

Otro aspecto relevante respecto al tratamiento de desechos nucleares que regula la LSN, consiste en la opción de reprocesar el combustible nuclear gastado. En su artículo 4º, la Ley permite el otorgamiento de licencias para la construcción de plantas de reprocesamiento del combustible nuclear irradiado, sin existir mayores referencias respecto al tema. Como se aprecia, no es posible entonces evaluar de forma confiable si la opción de reprocesamiento del combustible gastado es conveniente económicamente, de acuerdo a lo que actualmente indica la ley.

3.2.5 Desmantelamiento de las instalaciones.

Al término de su operación comercial, las centrales nucleares de potencia requieren que el cierre de sus instalaciones se realice acorde a las estrategias que hayan sido establecidas dentro de las normas de seguridad de cada país y de los esquemas de licencia que hayan sido definidos. A diferencia de otro tipo de proyectos de generación eléctrica, las instalaciones nucleares requieren de un tratamiento especial, con el fin de preservar la seguridad del medioambiente.

Las tareas anteriormente descritas se refieren al manejo de desechos radiactivos producto de la operación de la central, los cuales han sido almacenados temporalmente en las piscinas del reactor; además de materiales y equipos de las mismas instalaciones que tengan niveles de radioactividad bajo o medio. Adicionalmente, en los casos que el Estado lo requiera, se debe

rehabilitar el terreno ocupado por la central de manera que éste para que pueda ser utilizado en cualquier otro tipo de actividad.

La variedad de diseños de reactores existentes en la industria, ha generado la necesidad de definir una serie de estrategias respecto al cierre de las plantas nucleares de potencia, las que son estudiadas caso a caso. Por otro lado, dado el inminente riesgo a la seguridad nacional, los países han exigidos distintas medidas de manera de garantizar que los recursos económicos necesarios para el cierre de las instalaciones nucleares se encuentren disponibles en el momento que se requieran.

La regulación vigente, y mediante el reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental (DS95/2001), define que todas las centrales de generación mayores a 3 MW de capacidad necesitan de aprobar y cumplir con los requisitos impuestos en los permisos ambientales, los que son otorgados por el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental. Adicionalmente, una vez aprobado la evaluación de su impacto ambiental, los proyectos de generación deben cumplir con el Plan de Seguimiento Ambiental, el cual está definido en los artículos 63º y 64º del Decreto Supremo Nº95 del 2001, “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”. El no cumplimiento de las disposiciones contenidas en el Estudio o Declaración de Impacto Ambiental puede provocar amonestaciones, multas o incluso la revocación de la aprobación del Estudio o Declaración del Impacto Ambiental.

Específicamente una de las disposiciones que deben ser cumplidas hace referencia al proceso de cierre de un proyecto. El literal c.4 del artículo 12º establece que el Estudio de Impacto Ambiental debe precisar la descripción de la fase de cierre de las instalaciones, detallando las acciones, obras y medidas que implementará el titular del proyecto. Este requerimiento puede generar problemas para centrales nucleares de potencia, debido a que lo declarado en el Estudio de Impacto Ambiental debiese ser compatible con lo establecido en el proceso de licencias definido para el caso específico de las plantas nucleares.

Las centrales nucleares deben contar con licencias para poder operar dentro del sistema, y en el caso en particular para el cierre de sus instalaciones, de acuerdo al artículo 4º de la LSN. Adicionalmente, en el artículo 34º de la misma Ley se establecen multas, suspensiones o revocación de las licencias en la medida del no cumplimiento de las condiciones establecidas en las mismas licencias (Artículo 13º). El mismo artículo indica además que no puede renunciarse a las licencias a menos que se cuenten de los resguardos y garantías necesarias y suficientes en cuanto al cierre definitivo de las instalaciones. Es decir, el término de las operaciones del proyecto nuclear está sujeto, de acuerdo a la regulación actual, a la aprobación de la CCHEN.

3.2.6 Responsabilidad civil ante accidentes nucleares.

La eventual ocurrencia de accidentes nucleares es un riesgo inherente a proyectos núcleo-eléctricos, riesgo que ha sido mitigado por la madurez de las medidas de seguridad que rigen los diseños actuales de plantas nucleares de potencia.

Las rigurosas normas de seguridad fijan exigencias que deben ser cumplidas por los operadores de las instalaciones nucleares. No obstante lo anterior, siempre existirá la

posibilidad del acontecimiento de un accidente nuclear, frente a lo cual los países deben definir una serie de medidas de cobertura, de manera de establecer mecanismos de compensación frente a eventuales daños.

Los países han desarrollado distintas medidas regulatorias respecto a este tema, muchas de ellas basadas en convenciones internacionales (ver sección 4.1.3). De forma general, los proyectos de generación son responsables de eventuales daños que hayan sido causados dentro del ejercicio de su actividad. Dado lo anterior, las empresas de generación contratan seguros de responsabilidad civil en base a su estrategia de manejo de riesgos u obligatoriamente según lo expuesto en bases de licitaciones de consumo[32].

Al respecto, la definición de daño nuclear está contenida explícitamente en el artículo Nº 3º de la ley de Seguridad Nuclear, el cual consiste en la pérdida de vidas humanas, lesiones corporales, somáticas, genéticas y síquicas que afecten a las personas y los daños y perjuicios que se produzcan en los bienes como resultado directo o indirecto de las propiedades explosivas, radiactivas y/o toxicas de los combustibles nucleares o desechos radiactivos. También se considera como daño nuclear aquel producido por acción directa o indirecta de radiaciones ionizantes que se encuentren dentro de una instalación nuclear.

Con el objetivo de establecer mecanismos de cobertura respecto a daños nucleares, es que la misma Ley de Seguridad Nuclear, en su artículo 60º, instaura la obligación para el explotador de garantizar su responsabilidad frente accidentes, a través de la contratación de seguros o garantías financieras equivalentes, al menos, al monto indemnizatorio que define la ley.

Estos seguros o garantías deberán ser aprobados por la CCHEN, en una etapa previa al otorgamiento del permiso para comenzar la operación de la planta. En casos en que el explotador no logre acceder a un seguro como el descrito anteriormente, el Estado podrá entregar parcial o totalmente las garantías necesarias para dar cumplimiento con la exigencia que indica la Ley. Las condiciones que deberán ser cumplidas en este punto, debiesen de estar definidas mediante un reglamento que actualmente no existe, y que se considera necesario al momento de evaluar el ingreso de una central nuclear.

3.3 Aspectos operativos de un proyecto nuclear.

3.3.1 Alto factor de planta y mal desempeño para el seguimiento de la carga.

De forma general, las centrales nucleares de potencia se caracterizan por estar capacitadas para operar en base y lograr altos factores de planta, valores que usualmente se encuentran entre un 85% y 90%[33]. Esto es posible dadas sus características técnicas y a que resulta económicamente eficiente dado sus bajos costos de operación.

[32] Por ejemplo los exigidos en bases de licitación para el suministro de empresas concesionarias de distribución.

[33] Ejemplo de factores de planta históricos: Corea del Sur 87% y Finlandia 91%. Fuente: PRIS, IAEA (2009)

Por otro lado, las centrales nucleares presentan una tasa de toma de carga que en general no resulta mayor a 5%/min, y una tasa de reducción de carga que varía entre 5 y 10 %/min[34], lo que implica que las centrales nucleares de potencia no tiene un buen desempeño para realizar el seguimiento de carga. El modo usual de seguimiento de carga consiste que en una operación a baja potencia en predeterminados instantes. Para esto, las plantas pueden operar en un patrón diario, por ejemplo operando al 100% por 12 horas, y luego de tres horas bajar su potencia a un 50%, manteniendo ese nivel por 6 horas, posteriormente aumentar durante tres horas su capacidad al 100%[35].

3.3.2 Extensos tiempos de partida.

La puesta en marcha de una central nuclear, a diferencia de otro tipo de centrales, requiere de medidas especiales de seguridad. Dentro de esta etapa se incluye la primera carga de combustible nuclear y el inicio de la operación del reactor. Estas dos actividades requieren de una compleja planificación y ejecución. Adicionalmente, debido a los riesgos de accidentes que pueden provocarse en estos procesos, existe la necesidad de que los organismos reguladores realicen exhaustivas pruebas de seguridad en las distintas etapas del proyecto, y principalmente en el inicio de la operación de la central. Esta situación genera que el tiempo requerido para la planificación y la ejecución de la puesta en marcha de la planta, lleve cerca de dos años[36]. Se deben considerar una serie de prerrequisitos para llevar a cabo su puesta en marcha[37]: un mínimo de dos fuentes de energía externa deben estar disponibles; requiere de un nivel de voltaje y frecuencia adecuados; necesita que se realicen los chequeos de seguridad por parte del regulador nuclear.

La puesta en marcha debe considerar todas las actividades necesarias para que las estructuras, sistemas y componentes que forman parte de una central nuclear puedan lograr operar en forma normal. El desafío que se presenta en este proceso radica en el cumplimiento de las especificaciones del diseño, las restricciones de seguridad establecidas en las normas de seguridad y las condiciones impuestas por la licencia respectiva. Para garantizar el cumplimiento de este desafío, es que la puesta en marcha se divide en las siguientes etapas[38]:

- Pruebas pre-operacionales.
- Pruebas de carga del combustible.
- Pruebas de sub-criticidad del reactor nuclear.
- Pruebas de operación a baja potencia.
- Pruebas de operación a potencia nominal.

[34] Grid Stability and Safety Issues Associated With Nuclear Power Plants, Dr. John H. Bickel, Ph.D.

[35] Interfacing Nuclear Power Plants with the Electric Grid: the Need for Reliability amid Complexity, IAEA.

[36] Construction of a Nuclear Power Plant Unit at Olkiluoto, Teollisuuden Voima Oyj (2008).

[37] Manual 36 “System Restoration”, PJM system.

[38] Commissioning for Nuclear Power Plants, IAEA (2003)

Adicionalmente, una central nuclear requiere de un periodo de tiempo considerable para volver a inyectar energía, en caso de desconexión del sistema. Dado normas de seguridad y/o condiciones impuestas en la licencia respectiva, el tiempo de demora para la reconexión puede consistir entre 24 a 48 horas[39]. El tiempo indicado es producto de necesidades de enfriamiento del reactor, para lo cual requiere de un suministro confiable de energía proveniente del sistema o de equipos propios de respaldo.

3.3.3 Tratamiento de mantenimientos.

Las centrales nucleares de potencia operan en base y a plena carga, por lo que se logran altos factores de planta. No obstante lo anterior, las centrales nucleares de potencia pueden necesitar periodos de tiempo fuera de operación debido a requerimientos tales como: recarga de combustible, inspecciones de seguridad y restricciones internas.

La recarga de combustibles de reactores de agua liviana implica la desconexión de la central por 30 o hasta 60 días. Sin embargo este procedimiento puede ser realizado cada 12, 18 o hasta 24 meses de operación continua[40]. Cabe destacar que en los reactores del tipo PHWR (CANDU), la recarga de combustible se realiza de forma continua, no requiriendo del apagado del reactor para este propósito.

Por otro lado, usualmente la licencia de operación de las centrales puede definir requerimientos especiales para la programación de mantenimientos preventivos. Estos programas preventivos pueden ser definidos por criterios propios del regulador y/o las recomendaciones presentadas por el suministrador de tecnología. De este modo, la licencia puede establecer y llevar a cabo un programa que incluye la profundidad y frecuencia de los mantenimientos.

3.3.4 Requerimientos de servicios auxiliares.

Las centrales nucleares requieren de servicios auxiliares con mayor nivel de confiabilidad respecto a otros tipos de centrales. Lo anterior, principalmente con el objetivo de poder alimentar a los sistemas de seguridad asociados a la central nuclear. Adicionalmente los servicios auxiliares son requeridos para realizar los procesos de puesta en marcha y el enfriamiento del reactor durante el apagado de la central.

Estos servicios auxiliares pueden ser obtenidos desde la red (off-site) o desde unidades de generación especialmente dedicadas para este propósito, ubicadas dentro de las instalaciones (on-site). La primera de las opciones es factible en la medida que el sistema de transmisión entregue la confianza suficiente, la cual debería estar definida dentro del sistema de licenciamiento respectivo. Por otro lado, la necesidad de contar con servicios auxiliares on-site produce la necesidad de mayores inversiones.

[39] Ibid.

[40] Estudio de opciones de ciclo de combustible nuclear, Amec-Cade (2009)

3.4 Modelos de negocios predominantes.

Los proyectos de generación núcleo-eléctricos poseen un perfil de riesgos distinto al presentado por las tecnologías tradicionales de generación. Su intensivo uso del capital, tiempos de planificación y de construcción extensos, con alta incertidumbre, y aspectos de seguridad y de aceptación de la opinión pública marcan dicha diferencia.

Los distintos modelos de negocio desarrollados para los proyectos nucleares transitan entre los distintos niveles de participación del Estado y el mundo privado en el negocio.

En la década de los años 70 y 80 se construyeron la mayor cantidad de reactores nucleares, los que fueron planificados y operados bajo mercados regulados, con estructura verticalmente integrada, en los cuales los monopolios incorporan la generación, transmisión y distribución de la energía. En este escenario los modelos estatales, donde es el gobierno del respectivo país el que lleva a cabo el proyecto, con todos los costos y riesgos asociados, parecían como el más atractivo para el desarrollo de un programa nuclear.

El desafío de llevar adelante proyectos nucleares se presenta con la desregularización del sector eléctrico y la instauración de mercados competitivos en generación, escenario en el cual las centrales nucleares pierden competitividad antes las tecnologías tradicionales, dado los altos costos y riesgos que son involucrados.

En algunos países las centrales han sido construidas con la cooperación del capital público y privado. En estos casos y tras la privatización de empresas eléctricas, algunas instalaciones han cambiado de dueños para pasar a formar parte de pools de inversionistas en los que los respectivos gobiernos participan en la propiedad, de manera de mantener un cierto control sobre las decisiones que toma el desarrollador del proyecto.

El socio privado normalmente podría aportar su experiencia en la integración de diseño, construcción y consideraciones operativas, además de asumir el riesgo financiero de los sobrecostos de construcción y retrasos, recibiendo su retribución a través de los beneficios de largo plazo generados por el buen funcionamiento de la instalación.

Se presenta a continuación las distintas configuraciones que Estado y privado han formado para el desarrollo de un plan nuclear de acuerdo a la experiencia internacional. En este sentido, la Figura 5 destaca cuatro modelos de negocio identificados de acuerdo a la experiencia internacional, los que se ven diferenciados por el distinto grado de compromiso que presenta el Estado y el mundo privado en el desarrollo de un proyecto nuclear. La descripción de cada una de estas estrategias se revisa en el punto 5.4.1.

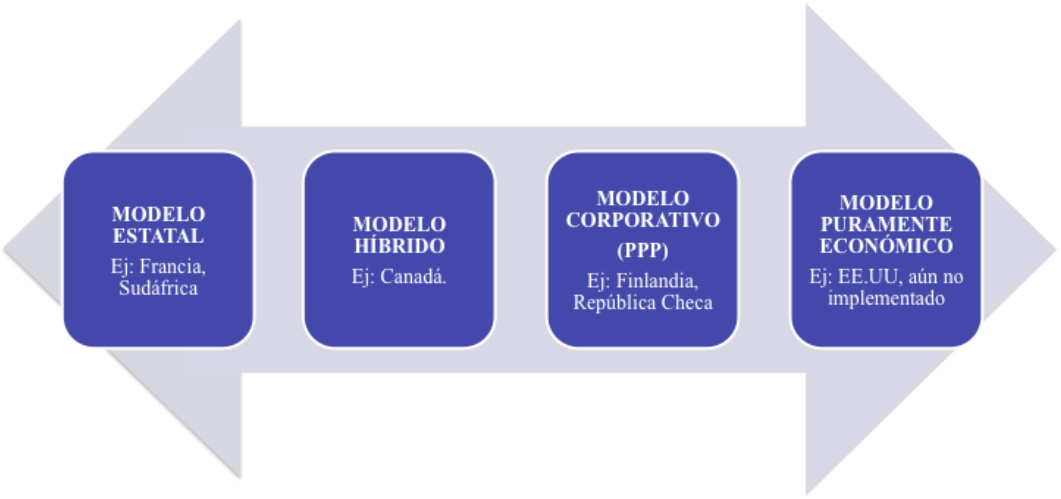


Figura 5: Modelos de Negocio

3.4.1 Estructura de Costos y Oportunidades de Negocio

El sistema eléctrico chileno opera de acuerdo a un despacho económico basado en los costos variables de generación de las centrales conectadas al sistema, minimizando los costos de operación totales y resguardando la confiabilidad del sistema (artículo 137º del DFL Nº4). Dicha operación determina el costo marginal del sistema con el cual se valorizan las inyecciones y retiros de energía que realizan las empresas generadoras. Los costos variables de generación de cada unidad generadora son auditados por el CDEC de cada sistema. En el caso de centrales térmicas, cada representante debe entregar datos sobre el tipo de combustible y compras efectiva, costos variables no combustibles, su rendimientos, su programa de mantenimientos, entre otros (artículo 65 del Reglamento interno del CDEC-SIC).

En el caso de un proyecto nuclear, este presenta partidas costos que actualmente no están considerados dentro del costos variable auditado por los CDECs. Estos costos hacen referencia a la necesidad de realizar el tratamiento de desechos radiactivos, el desmantelamiento de la central y los seguros de responsabilidad civil. Como se verá más adelante, esto costos no tradicionales pueden ser incorporados como costos de operación o como costos de inversión, de acuerdo a lo revisado en la experiencia internacional.

3.4.2 Ingresos Potenciales del Negocio

El inversionista del proyecto nuclear debe considerar que el marco regulatorio que rige al mercado eléctrico chileno establece a la energía y a la potencia eléctrica como dos bienes económicos independientes[41]. La definición de los precios de estos productos se basa en un esquema marginalista, en donde el precio es fijado en base al costo de suministrar una unidad adicional de cada uno de ellos. Además de la comercialización de estos dos productos, el

[41] La independencia es vista desde un punto de vista económico, no físico.

generador recibe remuneraciones por la prestación de Servicios Complementarios [42] (SSCC). Al respecto, el inversionista debe realizar una revisión de la regulación eléctrica con el objetivo de conocer cuáles son sus opciones para comercializar sus productos y SSCC. En este sentido se identifican las siguientes alternativas:

- Vender su energía en el mercado Spot, opción que tiene acceso cualquier generador que operen de forma coordinada en un sistema interconectado. El artículo 119º del DLF4 establece que las transferencias de energía en este mercado serán valorizadas al costo marginal instantáneo, siendo el CDEC respectivo el responsable de su cálculo. En la práctica, cada CDEC realiza una programación diaria y el cálculo de los costos marginales con detalle horario. La programación diaria es realizada según lo establecido en los manuales de cada CDEC, en el caso particular del SIC el manual de procedimientos Nº12 "Programación de Corto Plazo o Programa Diario", en su artículo 2 donde se establece el despacho basado en una lista de merito según los costos de operación y considerando las condiciones de operación de cada central. De esto modo realiza un balance de inyecciones y retiros que realiza cada generador.

- Vender su potencia en el mercado spot, lo cual es realizado en el llamado Balance de Transferencias de Potencia. La valorización de dichas transferencias es realizada en base al precio de nudo de la potencia, en función de la capacidad de generación compatible con la suficiencia y los compromisos de demanda de punta de cada unidad generadora. El precio de nudo de potencia es fijado semestralmente por la CNE, el que actualmente se define por el costo de desarrollo de una turbina a gas.

  Respecto al Balance de Transferencias de Potencia, su metodología de cálculo es descrita en el DS62[43]. Los procedimientos necesarios para llevar a cabo dicho balance corresponden principalmente a: clasificación de cada central y el cálculo de su Potencia Inicial, verificación de su potencia máxima, registro de sus fallas y cálculo de su indisponibilidad forzada, cálculo de su factor de mantenimientos, y cálculo de la potencia de suficiencia.

  La Potencia Inicial de una central representa la potencia que cada unidad generadora puede aportar sistema, en función de la incertidumbre asociada a la disponibilidad del insumo de generación. El cálculo de dicha Potencia Inicial depende al tipo de insumo de generación que utilice cada unidad generadora basado en la clasificación descrita en el DS62. De acuerdo al artículo Nº33 del DS62, una central nuclear de potencia utiliza un insumo de generación que es transado en mercados internacionales y que tienen más de un origen. De este modo la potencia inicial de un proyecto núcleo-eléctrico correspondería a su Potencia Máxima.

[42] Los servicios complementarios comprenden los aportes de una central para aumentar la seguridad del sistema (Regulación de frecuencia, Compensación Capacitiva y Reactiva, Márgenes de seguridad, Partida en frío, otros). Hasta el momento no existe oficialmente un mercado de Servicios Complementarios.

[43] Considerar que la aplicación de este decreto está aplazada a la espera de la implementación de los servicios complementarios.

Para efectos del Balance de Transferencias de Potencia, la Potencia Máxima de una central corresponde al resultado de una verificación de la máxima capacidad de generación. Dicha verificación corresponde a la realización de pruebas operativas que deben ser realizadas anualmente para cada unidad generadora del sistema. En esta verificación no deben ser consideradas restricciones causadas por eventos externos, tales como la congestión del sistema de transmisión o fallas de las instalaciones eléctricas.

Las fallas que provoquen la indisponibilidad de las unidades generadoras influyen en el cálculo de la Indisponibilidad Forzada de cada central, la cual corresponde al cuociente entre el tiempo acumulado en estado indisponible dentro de una ventana móvil de cinco años y la suma acumulada de los tiempos indisponibles y disponibles dentro del mismo periodo de tiempo. Cabe destacar que la indisponibilidad no considera eventos o contingencias externas que no estén asociadas a la unidad generadora. En el caso de una central nuclear, no se aprecian problemas en el cálculo de su indisponibilidad forzada, dado que no existen reglas discriminatorias según la tecnología. Considerando el alto factor de planta observado en la operación de las centrales nucleares se vislumbra poca incidencia de la indisponibilidad forzada[44].

Dentro de los tiempos anteriormente considerados, no se incluyen los asociados a mantenimientos mayores, los cuales son considerados para el cálculo de un factor proporcional al periodo de mantenimiento mayor. En el caso del cálculo de este factor para centrales nucleares, los mantenimientos pueden ser realizados con una menor frecuencia que otros tipos de centrales térmicas. Sin embargo, se debe considerar que los mantenimientos son programados considerando, entre otros factores, las normas de seguridad nuclear.

Los resultados de la potencia inicial, la indisponibilidad forzada y el factor de mantenimientos son utilizados para el cálculo de la Potencia de Suficiencia Preliminar de cada unidad generadora. La cual es obtenida mediante un análisis probabilístico, evaluando el valor esperado del aporte de cada central a la suficiencia del sistema. Finalmente la Potencia de Suficiencia de cada central es obtenida aplicando a su valor preliminar un factor que ajuste la suma de Potencias de suficiencia a la demanda de punta del sistema[45].

- Vender su energía mediante contratos a clientes libres o a otras empresas generadoras. Según el artículo 147º del DFL Nº4 cada empresa de generación tiene la opción contratar su energía y potencia a precios libres con clientes no sujetos a tarifas reguladas[46]. En este contexto, no se vislumbran problemas para que un proyecto

[44] Considerando que un alto factor de planta implícitamente implica reducidos periodos de tiempo de fallas de una central.

[45] La cual es definida como el promedio de los 52 mayores valores de la curva de carga del sistema.

[46] Es decir, clientes con potencia conectada mayor a 2000 kW, o aquellos que tengan un consumo mayor a 500 kW y renuncien a su opción de acceder a tarifas reguladas.

núcleo-eléctrico suscriba contratos de suministro a lo largo de su vida útil. Sin embargo, sí se observan dificultades para suscribir contratos de suministro en la etapa de financiamiento, debido a lo extenso de su periodo de construcción y a la incertidumbre respecto al riesgo de atrasos en su inicio de la operación comercial. De esta forma, el requerimiento de una mayor anticipación en la firma de contratos conlleva a mayor incertidumbre, dificultando la negociación de las condiciones de los contratos.

- Vender su energía mediante contratos a empresas de distribución, para lo cual debe participar en licitaciones públicas, abiertas no discriminatorias y transparentes, según lo establece el artículo Nº131 del DFL4. El objetivo de estas licitaciones es el de garantizar a lo menos por tres años el suministro de los clientes regulados que atiendan cada una de las empresas concesionarias de servicio público de distribución. Estas licitaciones de suministro podrán realizarse de forma conjunta entre varias empresas concesionarias, siendo responsabilidad de éstas elaborar las bases que especificarán a lo menos los puntos en donde se realizará el suministro, la cantidad de energía contratada y el periodo del contrato. En todo caso, las bases deben ser aprobadas por la CNE y la duración máxima de los contratos no puede exceder los 15 años.

  Adicionalmente, el DS4 establece que las bases de la licitación deben requerir garantías e informes de clasificación de riesgo institucional. Sin embargo, no se establecen mayores exigencias al respecto.

- Obtener ingresos al prestar servicios complementarios (SSCC)[47], los cuales son establecidos en el artículo 150 del DFL Nº4. Este artículo entrega al CDEC respectivo la responsabilidad de definir, administrar y operar los SSCC necesarios para garantizar la operación del sistema. Adicionalmente, el CDEC deberá valorizar la prestación de estos SSCC, en base a un reglamento, el cual si bien no existe en la actualidad, se espera que en el corto plazo regule tal situación.

  Los SSCC pueden ser clasificados según su función específica, a saber: control de frecuencia, control de tensión, y el plan de recuperación de servicio.

  El control de frecuencia corresponde a aquellos SSCC necesarios para mantener la frecuencia de operación dentro de una banda definida en la NTSyCS en torno a la frecuencia nominal. La tarea fundamental de este tipo de servicios es la de corregir desequilibrios instantáneos entre la potencia generada y la potencia demandada. En este sentido se vislumbra que las centrales nucleares de potencia no podrían entregar este tipo de servicio debido a su mal desempeño para el seguimiento de carga y a sus largos periodos necesarios para realizar la partida.

[47] El reglamento que establece el mercado de Servicios Complementarios aun no es promulgado. Provisoriamente algunos atributos de seguridad son incorporados dentro de los pagos por capacidad.

El control de tensión corresponde a aquellos SSCC necesarios para mantener niveles de tensión y reservas de potencia reactiva dentro de los límites y estándares que establezca la NTSyCS. La capacidad de una central de entregar reactivos está dada por la excitación de su generador eléctrico. En este caso no se observan problemas para que centrales nucleares de potencia entreguen este tipo de servicios, dado que su generador es del mismo tipo que una unidad de generación térmica.

El plan de recuperación de servicio consiste en SSCC necesarios para restablecer el suministro eléctrico en las zonas afectadas por la interrupción del suministro eléctrico. En un caso extremo, estos servicios son necesarios para restablecer la operación del sistema tras la ocurrencia de un blackout. En este sentido, una central nuclear no participaría en un plan de recuperación de servicio, dado que esta no puede partir de forma autónoma.

3.5 Financiamiento de un proyecto nuclear

Los altos costos de capital que implica la construcción de una central nuclear, otorgan un carácter relevante a la definición de los mecanismos que debe llevar a cabo el desarrollador de una planta nuclear para conseguir el financiamiento.

La restructuración de los mercados de electricidad, y la liberalización de los mercados, favorecen a la generación de activos con costos de capital bajos y períodos de construcción cortos, características justamente opuestas a las que presenta un proyecto nuclear. Por lo demás, incertidumbres políticas, cambios en los marcos regulatorios y retrasos de construcción que han presentado históricamente este tipo de proyectos incorporan riesgos que son considerables para el inversionista.

De esta forma, sólo con estímulos y mecanismos de protección adecuados para la inversión resulta posible la creación de nuevos esquemas de financiamiento para las centrales nucleares, de manera de viabilizar el desarrollo de proyectos de este tipo. El financiamiento resulta finalmente un ejercicio de gestión de riesgos, en el cual el sector privado toma hoy un rol relevante debiendo definir estructuras innovadoras para lograr el financiamiento del proyecto con el apoyo necesario del Estado.

En el capítulo que se presenta a continuación se realiza entonces una descripción de los distintos aspectos relevantes a la hora de conseguir el financiamiento para una central nuclear.

3.5.1 Incentivos Estatales a la Inversión

La participación del Estado en un proyecto de energía nuclear puede tomar distintas perspectivas. La revisión internacional da cuenta de apoyos tales como entregas de préstamos u otro tipo de garantías similares a la figura del aval para la obtención de dichas facilidades. A su vez los gobiernos pueden incurrir en riesgos indirectos no relacionados con las finanzas, como la responsabilidad de mantenimiento de infraestructura.

Las garantías pueden incluir también contratos take or pay de energía, acuerdos para cubrir los costos por retrasos generados por acciones o inacciones de la autoridad en asuntos como el proceso de entrega de permisos, o la estimación de precio garantizados.

Cada una de esas garantías acarrea sus propios riesgos para el Estado, el que se hace responsable por el desempeño de actividades sobre las cuales incluso podría carecer de control. La entrega de estas garantías no es exclusiva de los gobiernos, encontrándose en la experiencia internacional que han sido empresas de servicio público (utilities), grandes corporaciones o consorcios las que se han encargado de la entrega de incentivos. En estos esquemas, los riesgos que se asumen resultan los mismos, sin embargo serán los privados los que asumirán las responsabilidades y consecuencias.

3.5.2 Fuentes de Financiamiento

Financiamiento con apoyo Estatal

En el desarrollo de programas nucleares en el mundo, se destaca el rol en el pasado de los Estados como iniciadores de la promoción, desarrollo y financiamiento de energía nuclear.

En algunos casos, han construido o financiado centrales nucleares por sí solos o en asociación con empresas fiscales de electricidad. Un caso en particular de esta forma de financiar una planta es el caso francés, donde Electricité de France, empresa estatal, es la encargada de financiar, construir y operar las centrales del país.

Los Estados tienen la facultad de establecer condiciones económicas e institucionales conducentes al financiamiento, ya sea nacional o externo, para proyectos de gran requerimiento de capital como una central nuclear. Esto, sumado al control sobre las prácticas y políticas de regulación que permiten a la autoridad tener un manejo parcial sobre las incertidumbres en costos y tiempos del proyecto que puedan implicar costos adicionales a los presupuestados inicialmente por la empresa desarrolladora.

El apoyo estatal al financiamiento de una planta generalmente se refiere a otorgar de forma directa préstamos u otro tipo de garantías. No obstante lo anterior tanto gobiernos de países desarrollados como en desarrollo se han encontrado en la actualidad con la necesidad de recurrir a mercados de capitales para el financiamiento de proyectos, dado los altos niveles de inversión requeridos para ello.

Capital Privado

La preocupación para inversionistas y prestamistas en la actualidad se centra en los retrasos y sobrecostos mostrados en la trayectoria de esta industria. Cualquier caída consecuente en los ingresos pondría en peligro la viabilidad del proyecto, disminuyendo tanto la garantía de retorno de la inversión o el pago del préstamo, lo que se traduce en una pérdida del valor de su inversión.

Si bien en los mercados actuales el riesgo puede ser diversificado a través de distintas estrategias, la imposibilidad de determinar con antelación costos y plazos para el desarrollo del proyecto implica riesgos que difícilmente pueden ser controlados.

Se debe destacar que la decisión de cualquier inversionista privado de participar en un proyecto de energía nuclear se basará siempre en la relación riesgo/beneficio que presente el proyecto, por lo que una buena gestión de proyecto y en particular el cuidado en aquellos puntos claves para la asignación de los riesgos, resultan trascendentales en su desarrollo.

Dado las características anteriores, resulta fundamental para el inversionista acceder a fuentes de financiamiento para llevarlo a cabo. Tradicionalmente, las principales fuentes de financiamiento son:

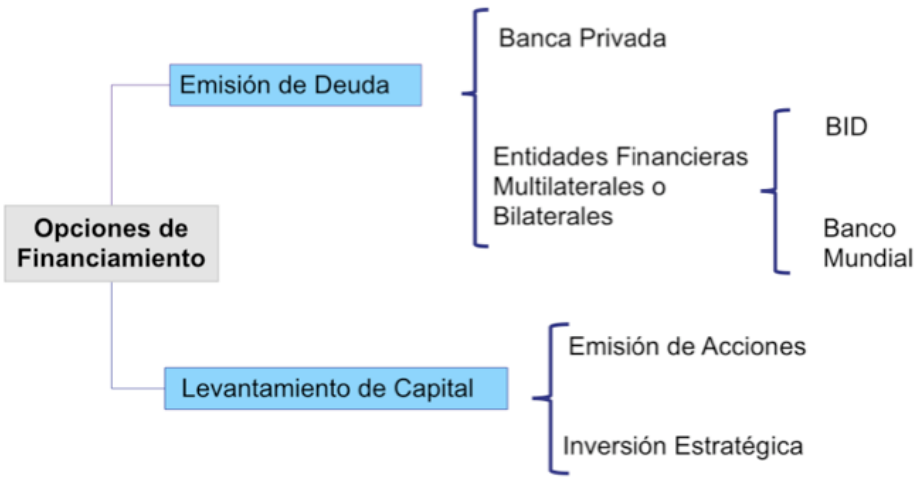


Figura 6: Opciones de Financiamiento

De acuerdo a la Figura 6, las principales fuentes de financiamiento corresponden a las siguientes alternativas:

- **Emisión de Deuda:** ésta puede provenir ya sea de entidades financieras multilaterales o bilaterales (BID, Banco Mundial, etc.) o de la banca privada.

  Project Finance es un mecanismo innovador de financiamiento de proyectos de gran envergadura, que permite al promotor de un proyecto, ya sea público o privado, acceder a créditos comprometiendo los flujos del proyecto, en la medida que se tiene certeza sobre ellos.

  A diferencia de los mecanismos de crédito utilizados habitualmente, esta estrategia se basa fundamentalmente en la capacidad que tiene el proyecto de generar recursos suficientes para pagar los rendimientos del capital, el beneficio del explotador y devolver el capital invertido.

  En la actualidad, ha tomado mucha fuerza en sectores como el eléctrico o del transporte, permitiendo desplazar estas grandes inversiones, históricamente unidas al sector público, hacia el sector privado. Sin embargo no se encuentra en la literatura proyectos de energía nuclear financiados mediante esta estrategia financiera.

- **Levantamiento de Capital:** a través del levantamiento de capital, son los mismos privados los que generan directamente el financiamiento, al tomar posición en la propiedad de las empresas. Un aumento de capital está dado por la venta de acciones de la empresa, proceso que puede ser realizado mediante las transacciones internas o la venta de acciones a externos. Una estrategia interesante de levantamiento de capital para el desarrollo de proyectos de gran envergadura es la inversión estratégica

La inversión estratégica corresponde a un grupo de inversionistas llamados estratégicos que conocen aspectos importantes de la industria eléctrica debido a que intervienen en ella como operadores, proveedores de equipo, constructores de instalaciones o proveedores de equipo. Este tipo de inversionistas están dispuestos a comprometer importantes sumas de capital en proyectos eléctricos como accionistas permanentes o temporales de los mismos. El horizonte de inversión de estos inversionistas suele ser de un largo plazo, pero aspiran a tener participación en el potencial de ganancia derivado de la construcción y operación de los proyectos energéticos.

3.5.3 Riesgos del Financiamiento

La realización un proyectos nucleares en países en desarrollo, o en países donde los cambios regulatorios son impredecibles dado la inexistencia de una regulación robusta en el tema, implica distintos perfiles de riesgo para el inversionista, y por lo tanto necesidades de financiamiento diferentes.

La barrera presentada para el financiamiento de una central nuclear es el gran monto de capital que debe ser comprometido para llevar a cabo el proyecto, en un mercado de capitales que resulta renuente a financiar proyectos cuyo riesgo pude llegar a ser incontrolable.

Los mecanismos desarrollados para el control de los riesgos del financiamiento a nivel internacional consisten en la cobertura por etapas para el desarrollo de una planta, enfoque que ya ha sido utilizado en China y ha sido propuesto para la construcción de nuevas plantas en los EE.UU. A través de este mecanismo, el costo de capital requerido sólo reflejaría los riesgos inherentes de cada fase, minimizando el gran riesgo asociado al costo de capital que implica el desarrollo de una planta nuclear.

Durante la etapa de construcción, el principal riesgo son los retrasos y el descalce con el presupuesto inicial del proyecto. A medida que avanza la construcción de la planta y disminuyen los riesgos de cumplimiento de las obras, el requerimiento de capital también comienza a caer. Una vez finalizada la construcción, los riesgos del inversionista son reducidos esencialmente a la operación de la planta y los riesgos de mercado, en un escenario en que operacionalmente una central nuclear es perfectamente competitiva con unidades de generación tradicionales, sin discriminación alguna.

El financiamiento por fases permite además que el desarrollador del proyecto pueda ir mutando en sus modelos de negocio, de acuerdo a las conveniencias y necesidades que presenten dichas configuraciones en las distintas etapas.

Generalmente el financiamiento por etapas considera 3 actividades claves, las cuales deben ser superadas una a una para poder continuar con el desarrollo del proyecto. Por lo demás se

presentan de modo creciente en costos, de manera de que, en caso de tomar la decisión de no seguir adelante con la construcción de la planta los costos asociados no resulten considerables.

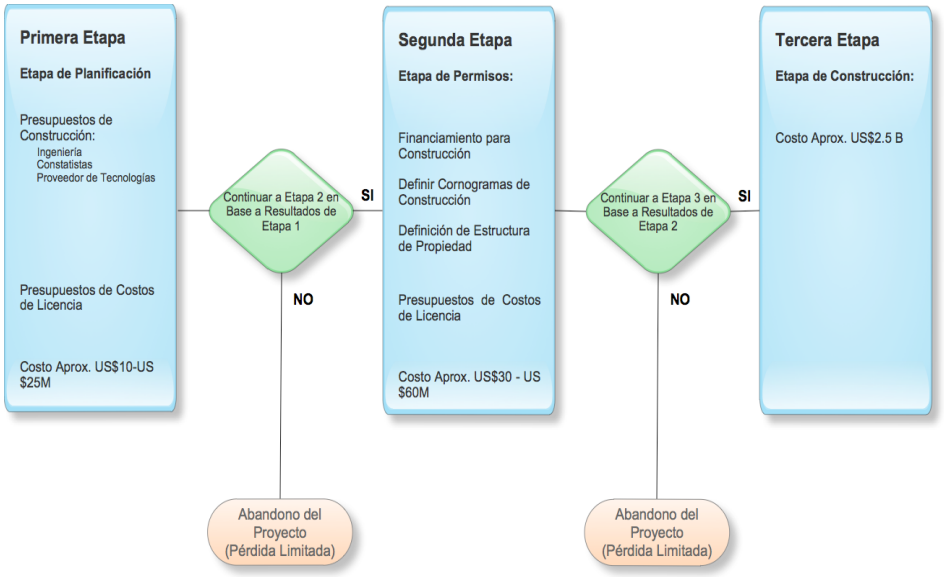


Figura 7: Financiamiento por Etapas[48].

Esta estrategia se considera especialmente eficaz en situaciones que se permita la transferencia paulatina de responsabilidades hacia el inicio de las actividades operacionales de la planta, donde los riesgos disminuyen radicalmente. Lo anterior se refiere principalmente a que el apoyo de los gobiernos resultan efectivos en las etapas iniciales del proyecto, sin embargo una vez en la etapa de operación de la planta en el contexto de mercados competitivos, el rol de la autoridad podría implicar más complicaciones que beneficios.

Al respecto, la primera planta que se proyecte construir presenta un mayor riesgo de ser materializada con éxito, con costos más altos que las unidades posteriores. Sin embargo, una vez que algunas unidades se construyen y están funcionando con éxito, el modelo de financiación también puede cambiar, disminuyendo los costos asociados al financiamiento al reducir el riesgo.

A continuación se describen los riesgos al financiamiento detectado en las distintas etapas del proyecto.

- Riesgo regulatorio, político y de aceptación pública.
- Obtención de permisos.

[48] Referencia de costos: NP2010 Texas Gulf Coast Nuclear Feasibility Study Final Report, EnergyPath Corporation (2005). Dólar de 2002 para una central de 1.400 MW.

- Elección de la tecnología y abastecimiento de combustible.
- Retrasos y/o sobrecostos en la construcción.
- Mal desempeño de la operación de la central.
- Costo del tratamiento de desechos de alto nivel de radioactividad.
- Costo del cierre de las instalaciones.
- Riesgos de accidentes nucleares.

El eventual impacto asociado a cada uno de estos riesgos es analizado en el capítulo 0.

3.5.4 Clasificación de Riesgo

La clasificación de riesgo de las empresas de generación nuclear está dada según dos componentes esenciales: aquel riesgo inherente al negocio y el riesgo financiero.

El primero, el **riesgo del negocio**, está determinado tanto por elementos de la propia empresa como por componentes del mercado en el que se desenvuelve. Aspectos a considerar incluyen al nivel de regulación del mercado, los detalles de la operación de la empresa y el nivel de competitividad observado en el mercado.

El **riesgo financiero**, por otra parte, se medirá en términos de rentabilidad, el nivel de flujo de caja y su protección, el nivel de responsabilidad de la administración, la flexibilidad financiera del negocio y sus políticas en el ámbito financiero. La solidez financiera, en general, se evaluará de acuerdo a los niveles de apalancamiento que la empresa tenga en un momento determinado del negocio.

Figura 8: Clasificación de Riesgo de las Empresas

Las empresas nucleares ven aumentado su riesgo de manera superlativa en comparación a otras tecnologías de generación; esto ocurre dado que los procesos de aprobación y construcción de las plantas resulta bastante extensa, lo que es acentuado con el alto capital requerido en comparación a las utilidades percibidas[49].

La revisión de experiencias internacionales determina que en las primeras etapas de desarrollo de una planta nuclear las empresas calificadoras ven aceptables niveles de riesgo

[49] "Business Risks to Utilities as New Nuclear Power Costs Escalate", Craig A. Severance, 2009.

para el proyecto, sin embargo cuando los costos de construcción alcanzan su nivel más alto la compañía baja notablemente su posicionamiento en la escala de riesgos.

Una baja clasificación de riesgo en los mercados actuales obligaría al desarrollador de proyecto a pagar una mayor tasa de interés asociado al crédito[50], llegando incluso al extremo lograr acceso a él, dificultando entonces la viabilización del proyecto. Resulta importante destacar en este punto que una baja en la clasificación de riesgo, reduce los incentivos que tendría un inversionista de entrar a un proyecto de este tipo, pues aumentará el costo de sus créditos, se dificultará el acceso al financiamiento, y al final, disminuirá el valor de la empresa. Sin embargo, esto no es relevante para grupos internacionales con autofinanciamiento de su desarrollo.

[50] Moody's: Nuclear plant construction poses risks to credit metrics, ratings

4 IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS PARA LA INVERSIÓN DE UN PROYECTO NUCLEAR EN CHILE

En este capítulo se identifican barreras de entrada, existentes o eventuales, que enfrenta un proyecto nuclear para incorporarse en el mercado eléctrico chileno. Para lograr este objetivo, se realiza una revisión de cada etapa del proceso de inversión dado el marco regulatorio del mercado eléctrico vigente y tomando en cuenta las particularidades de una central nuclear de potencia.

Para efectos de identificar las barreras asociadas a proyectos núcleo-eléctricos, se considera el proceso de inversión de un proyecto de generación que es mostrado en la Figura 9. En las siguientes secciones se realiza la identificación o detección de barreras considerando cada etapa del proceso de inversión.

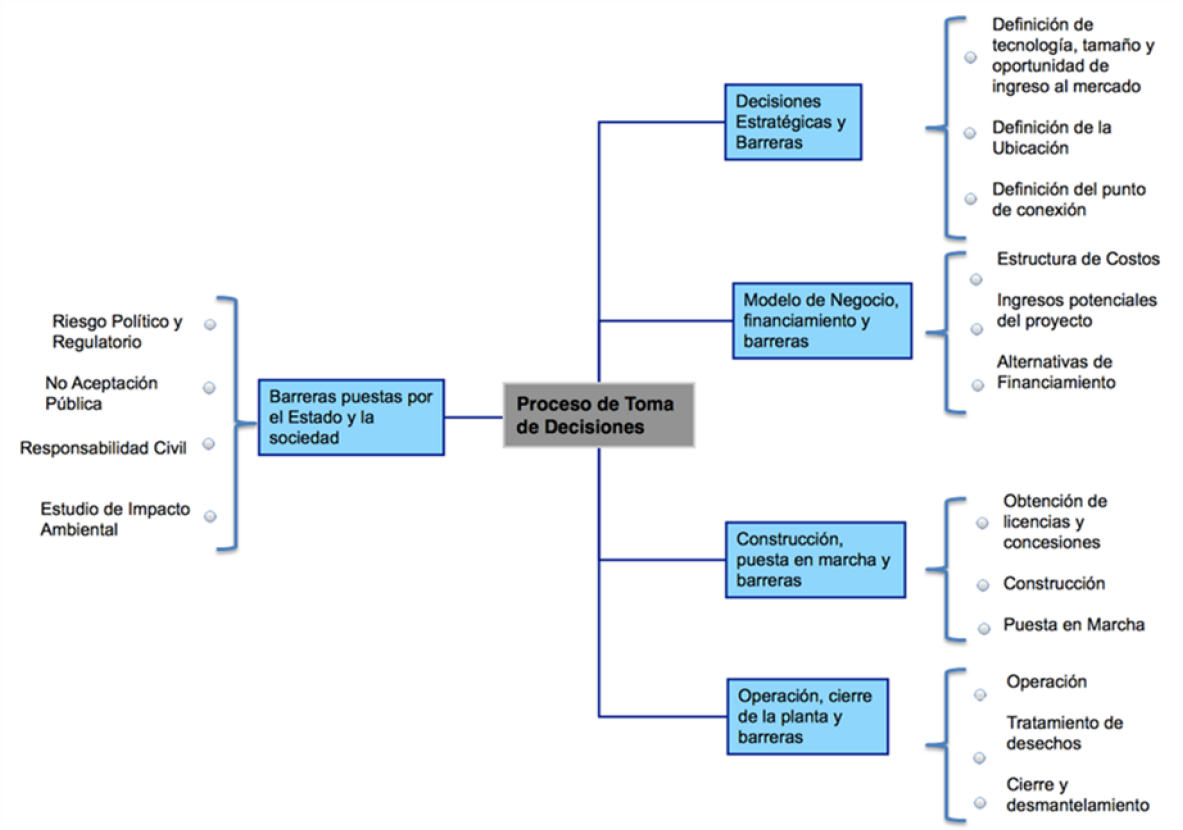


Figura 9: Proceso de toma de inversión de un proyecto de generación

4.1 Barreras puestas por el Estado y la sociedad

En esta sección se analiza como la política energética y aspectos sociales pueden generar barreras de entrada para el desarrollo de la energía nuclear en Chile.

4.1.1 Las barreras del riesgo regulatorio y político

Uno de los principales requerimientos de la energía nuclear, se refiere a la necesidad de contar con el compromiso inicial del Estado para su desarrollo. La LSN en su artículo 45º establece la necesidad de obtener licencias para el desarrollo de una central nuclear de potencia. Complementariamente, el mismo artículo determina que este tipo de centrales requieren de autorización mediante Decreto Supremo, documento que es expendido por intermedio del Ministerio de Minería.

En la actualidad no existe en el país un sistema de licencias que sea aplicable a centrales nucleares de potencia. Dado su grado de importancia, la revisión en detalle del tema del licenciamiento es analizada en la sección 4.4.1.

Dado el requisito que cada proyecto debe obtener un permiso emitido por un Ministerio, el apoyo del gobierno es un requisito fundamental para viabilizar la entrada de una central nuclear al mercado, ya sea un desarrollo público o privado. Adicionalmente, el desarrollo de un proyecto nuclear debe percibir señales de compromiso en el largo plazo de Estado debido a los extensos periodos de vida útil de este tipo de proyectos, tema analizado en el punto 3.2.1.

De este modo, el riesgo regulatorio y político se transforma en una eventual barrera de entrada para proyectos nucleares. Lo anterior se producirá en condiciones que inestabilidades políticas o regulatorias, escenarios que incorporarán notablemente el riesgo que enfrenta el inversionista a tal punto de que este puede optar por desistir el proyecto.

4.1.2 Las barreras de una no aceptación pública

Como se menciona en el punto 3.2.1, la regulación eléctrica chilena no hace referencia alguna respecto al fomento de la aceptación pública de los proyectos, dejando en manos de los privados campañas de publicidad y planes de acción efectivos para adecuar la aceptación de sus proyectos de generación.

No obstante, la Ley 18.302, Ley de Seguridad Nuclear, en su artículo 44º establece sanciones de presidio, relegación[51] o extrañamiento[52] a quienes maliciosamente causen alarma pública divulgando noticias falsas de accidentes, riesgos o peligros debidos a la producción, manejo o uso de la energía nuclear.

En la medida que la regulación eléctrica chilena no defina planes de acción que fomenten la aceptación pública frente la inversión en tecnología nuclear, y considerando un eventual rechazo a nivel nacional, es que este tema podría ser considerado por el inversionista como un riesgo para el desarrollo adecuado del proyecto. Adicionalmente, y dado que el tema nuclear resulta un tema sensible, un alto nivel de rechazo público frente a la energía nuclear

[51] Traslado obligatorio de una persona a un lugar distinto al de su residencia habitual por un plazo definido, por disposiciones administrativas o judiciales.

[52] Referido a la expulsión del condenado del territorio de la República a algún lugar de su elección (artículo 34 del Código Penal)

puede influenciar indirectamente la decisión de un futuro gobierno, pudiendo tomar acciones populares que perjudiquen el proyecto (ver sección 3.2.1).

En este sentido, se detecta como una eventual barrera de entrada para las centrales nucleares de potencia el rechazo público de la comunidad, tanto a nivel nacional como local, frente a este tipo de proyectos. Desde el punto de vista nacional, el inversionista puede verse enfrentado a un potencial veto al uso de la energía nuclear, dada las presiones ejercidas sobre el gobierno de turno. Por otro lado, un eventual rechazo público a nivel local, puede perjudicar a algunos proyectos específicos, principalmente mediante el ejercicio de acciones judiciales que exijan medidas de protección que garanticen la seguridad para la población.

4.1.3 Las barreras relacionadas a la responsabilidad civil

Dado que la eventual ocurrencia de accidentes nucleares es un riesgo inherente al proyecto, es que le son requeridas a este tipo de proyectos el desarrollo de medidas de cobertura ante eventuales daños. Al respecto, la ley 18.302 "Ley de Seguridad Nuclear, establece en su artículo 49º que la responsabilidad civil por daños nucleares será objetiva[53] y será limitada tanto en montos de compensación como en el tiempo en que se producen los daños.

El artículo 50º de la misma ley determina la responsabilidad de los distintos agentes frente a un accidente nuclear. Se define de esta forma que la responsabilidad civil recaerá en aquella persona que haya asumido el rol de explotador al momento de optar al proceso de otorgamiento de la licencia de explotación o del manejo de sustancias radioactivas.

La Ley de Seguridad Nuclear establece una serie de exenciones y límites de la responsabilidad del explotador del proyecto. Al respecto, el articulo Nº56 instaura que la responsabilidad civil es aplicable incluso en caso fortuito o de fuerza mayor, con excepción de aquellos daños producidos directamente por situaciones de conflicto armado exterior, insurrección o guerra civil. Además, en el artículo 60 se establece que el monto indemnizatorio equivale en moneda nacional a 75 MM USD, valor reajustable desde la fecha de publicación de la ley hasta el momento del accidente. Así mismo, el articulo Nº66 limita a un plazo de 10 años el tiempo para realizar reclamos por daños nucleares.

A la luz de los antecedentes analizados y desde punto de vista del inversionista, el tratamiento de la responsabilidad civil exigida a proyecto núcleo-eléctricos se observa como una barrera de entrada. Lo anterior se explica en que, a diferencia de otros tipos de proyectos, la responsabilidad civil definida actualmente por la regulación recae exclusivamente sobre los titulares de las licencias, debiendo indemnizar a la comunidad damnificada ante todo evento, sin importar si el accidente fue producido por un caso fortuito o de fuerza mayor.

No obstante lo anterior, el marco regulatorio cuenta con medidas que buscan minimizar el impacto de esta barrera, limitando en dinero y tiempo las indemnizaciones correspondiente en caso de ocurrencia de un accidente nuclear. Sin embargo, la obligación de contar con seguros de responsabilidad civil o garantías para caucionar dichas indemnizaciones, genera

[53] Es decir, que no necesariamente debe haber culpabilidad, sino que el daño indemnizable sea producto del actuar del sujeto.

incertidumbre respecto a su impacto financiero sobre el proyecto, dada la inexistencia de un reglamento que defina la forma y condiciones para su aplicación. Cabe destacar por último que los primeros proyectos núcleo-eléctricos, se verán enfrentados a importantes costos de contratación de seguros, dada la mayor percepción de riesgos en relación a proyectos que se instauren al tiempo que ya exista un proyecto nuclear consolidado.

4.1.4 Barreras del estudio de impacto ambiental

Para la realización de proyectos de centrales generadoras se requiere la ejecución y aprobación del estudio de impacto ambiental, de manera de verificar que el proyecto cumpla con todos los requerimientos impuestos por la normativa respectiva. Este proceso es administrado por la CONAMA y se realiza mediante el Servicio de Estudio de Impacto Ambiental.

La indefinición en la normativa respecto a los estudios de impacto ambiental asociados a las centrales nucleares debe ser resuelta, para que no se constituya en una barrera para que los inversionistas evalúen el proyecto de forma adecuada. Por otra parte, cabe destacar que actualmente la CONAMA no cuenta con la capacidad de evaluar un proyecto de central nuclear, debido a la alta especialización técnica que requiere la revisión de las distintas exigencias de seguridad a las que son sometidos proyectos de este tipo.

Adicionalmente, se deberá definir como interactuarían el sistema de licencias con los permisos ambientales. Una potencial barrera de entrada para los proyectos nucleares, consiste en que ambos procesos se realicen de forma independiente y en paralelo, hecho que implicaría posibles redundancias en las tareas de revisión, generando mayores periodos de tiempo para la obtención de los permisos.

Es importante destacar que un estudio de impacto ambiental de una central generadora tiene relación con el lugar o emplazamiento en que se instalará la central como con la central misma a instalar y todas las instalaciones asociadas. En este estudio se plantea, más adelante, el concepto de aprobación temprana del estudio de impacto ambiental del emplazamiento, esto debe interpretarse con las respectivas limitaciones que ello implica.

4.2 Decisiones estratégicas y barreras

Una etapa primaria durante el proceso de inversión, corresponde a la definición de las características estratégicas del proyecto. Las principales decisiones a considerar en esta sección consisten en la definición de la capacidad de la central, sitio de instalación y el punto de conexión y por último la fecha de entrada del proyecto. Se analizan las posibles barreras que podrían presentarse en estas etapas.

4.2.1 Definición de la tecnología, el tamaño y oportunidad para entrar al mercado y eventuales barreras.

Uno de los aspectos críticos para el desarrollo de un proyecto núcleo-eléctrico consiste en la elección de la tecnología del reactor nuclear. Como fue mencionado en la sección 3.1.1,

existe una variedad de tecnologías disponibles comercialmente, la elección de una de ellas definirá en gran medida los costos de inversión y de operación del proyecto.

El marco regulatorio que rige el mercado eléctrico chileno deja completamente en manos de los privados las decisiones anteriormente analizadas. Es decir, el propio desarrollador del proyecto es el responsable de manejar los riesgos asociados al tipo de tecnología, tamaño de su proyecto y a la fecha para el comienzo de la operación comercial. Todo lo anterior resulta válido una vez que los proyectos hayan cumplido con la aceptación de su impacto ambiental y los requerimientos técnicos que establezca cada CDEC.

En el caso particular de proyectos núcleo-eléctricos, tampoco existen exigencias regulatorias respecto a la elección de la tecnología ni a la fecha de entrada de una central nuclear de potencia. No obstante, este tipo de proyectos tiene exigencias adicionales respecto a otros tipos de proyectos convencionales de generación, los cuales están contenidos en la ley 18.302 (LSN) y que consisten en la obtención de licencias y del permiso político por parte del gobierno. Estos temas serán tratados en la sección 4.4.1 y 4.1.1 respectivamente.

Basado en el marco regulatorio actual, la elección de la tecnología, su capacidad y la fecha del comienzo de la operación comercial de un proyecto nuclear no consisten en barreras de entrada para proyectos núcleo-eléctricos. Esto se mantiene en la medida que el esquema de licenciamiento descrito en la LSN vigente no quita flexibilidad para la elección de la tecnología.

4.2.2 Definición de la ubicación y eventuales barreras.

Considerando proyectos de generación de energía eléctrica convencionales, el desarrollador es quien elige el sitio de instalación de la central. Sin embargo, en el caso particular de centrales nucleares la ley 18.302 (LSN) en su artículo 4º establece el requerimiento de una licencia para el emplazamiento de centrales nucleares de potencia. A su vez, el artículo 5º indica que las autorizaciones serán otorgadas considerando las condiciones que permitan preservar el medio ambiente libre de contaminación. Al respecto, la ley 18.302 (LSN), indica adicionalmente que se definirá mediante reglamento un sistema de licencias en la medida que se viabilice la construcción de centrales nucleares, en la cual se determinarán aquellos requerimientos que deben de cumplirse para acceder a dicho permiso, reglamento que no existe actualmente en la regulación chilena.

Dado lo anterior, los proyectos nucleares no podrán ser instalados en sitios que no cumplan con ciertos criterios técnicos definidos de manera de reducir los riesgos de accidentes nucleares[54]. En este sentido, la elección del sitio para ubicar un reactor nuclear requiere de estudios técnicos exclusivos, que consideren todos los aspectos necesarios para garantizar la seguridad de sus instalaciones.

De esta forma, el desarrollador del proyecto se ve enfrentado a la pérdida de flexibilidad en la decisión que involucra la localización de la central. Esta situación se ve agravada si se

[54] Entre ellos, eventuales efectos de terremotos, eventos meteorológicos, deslizamientos, eventos humanos externos, distribución de población, entre otros.

considera que los sitios factibles pueden presentar dificultades de aceptación pública en las localidades cercanas.

Los antecedentes presentados permiten identificar que el acceso a sitios factibles para la instalación de una central nuclear podría convertirse en una potencial barrera de entrada. Más aún si se toma en consideración que los sitios factibles pueden consistir en un conjunto muy acotado de terrenos, restando flexibilidad al impulsor del proyecto. Adicionalmente, un agente privado presentará herramientas limitadas a la negociación para conseguir la obtención de terrenos, lo cual puede provocar en un caso extremo que no sea posible llegar a utilizar los terrenos definidos como factibles. Lo anterior, implica que es necesaria una activa participación del Estado.

4.2.3 Definición del punto de conexión y eventuales barreras.

La determinación del punto de conexión está directamente relacionada con la inyección de la planta al mercado. Como primera prioridad se debe buscar un nodo del sistema de transmisión cercano al terreno de emplazamiento y que tenga capacidad suficiente para evacuar la generación de la planta hacia centros de consumo. En el caso que no existieran puntos de conexión adecuados cercanos al sitio de ubicación, el desarrollador del proyecto tiene dos opciones: definir el punto de conexión cercano al terreno de emplazamiento, esperando que el Estudio de Transmisión Troncal amplíe la adecuadamente la capacidad de transporte de energía; o construir una línea de tipo adicional hasta un punto de conexión adecuado el cual puede consistir un gran centro de consumo. El primer caso se identifica poco probable debido a los riesgos a los cuales se expondría este tipo de proyectos, dados los eventuales retrasos que podrían ocurrir en el proceso de expansión del sistema de transmisión.

Por otro lado, la construcción de una línea adicional se presenta como una solución factible. Un ejemplo de cómo definir el punto de conexión al sistema en condiciones adversas es el caso del proyecto HidroAysén, el cual por estar en un punto extremo del sur del SIC, tiene planificado construir una línea de tipo adicional hasta un punto de conexión adecuado en la zona central del país el cual consiste en el mayor polo de consumo.

Considerando lo anterior es que la conexión al sistema no es considerada como una barrera para el desarrollo de una central nuclear, dado que siempre es posible optar por la opción de la construcción de una línea de tipo adicional por parte de la empresa. Esta situación es común a cualquier megaproyecto de generación que no cuente flexibilidad para la elección de su localización, como es el caso de grandes centrales de embalse.

4.3 Modelo de negocio, financiamiento y barreras

En un proyecto de generación, el inversionista requiere definir el modelo de negocio de su proyecto de generación, considerando sus ingresos y costos esperados. En el caso específico de centrales nucleares, debe considerar aspectos particulares que aplican a este tipo de proyectos, las cuales han sido descritas en el capítulo 3. Adicionalmente, el desarrollador del proyecto núcleo-eléctrico debe analizar aspectos particulares para el acceso al financiamiento necesario.

4.3.1 Costos, estructura de costos y eventuales barreras.

Como se indica en el punto 3.4, el sistema eléctrico chileno opera de acuerdo a un despacho económico basado en los costos variables de generación de las centrales conectadas al sistema, minimizando los costos de operación totales y resguardando la confiabilidad del sistema (artículo 137º del DFL Nº4).

En el caso de un proyecto nuclear, éste presenta partidas de costos que no son considerados como auditables a la hora de llevar a cabo el despacho económico del sistema. En este sentido, es importante destacar que, de acuerdo a las distintas experiencias internacionales, los costos de desmantelamiento y manejo de desechos pueden ser considerados tanto como costos variables, e incluido en el despacho del operador del sistema, como también como un costo de inversión, el que puede ser pagado de acuerdo a alternativas definidas en la regulación respectiva.

Si bien puede presentarse como barrera la existencia de costos no tradicionales, hecho que podría disminuir la competitividad respecto a otras tecnologías de generación, pudiendo provocar que no pueda maximizar su operación en base, reduciendo por ende su tasa de rentabilidad, esta situación correspondería a una barrera propia de la tecnología, y no de mercado propiamente tal.

4.3.2 Ingresos potenciales del proyecto y eventuales barreras.

El inversionista del proyecto nuclear debe considerar que el marco regulatorio que rige al mercado eléctrico chileno establece a la energía y a la potencia eléctrica como dos bienes económicos independientes, análisis que es realizado en el punto 3.4.2, pudiendo acceder en igualdad de condiciones a la venta de su energía y potencia tanto en el mercado spot o como en el de contratos, desde el inicio de su operación comercial. No obstante lo anterior, se vislumbra que los proyectos nucleares enfrentan una barrera de entrada debido a la dificultad para acceder a contratos de suministro durante su etapa de acceso al financiamiento.

De forma general, los proyectos de generación deben recurrir a contratos de suministro como estrategia de cobertura ante la variabilidad en los precios del mercado spot. En este sentido, la firma de contratos en la etapa de acceso al financiamiento ayuda a reducir los riesgos percibidos del proyecto y por lo tanto se reduce la tasa de retorno exigida al proyecto.

No obstante, en el caso de un proyecto nuclear, debido a sus mayores plazos de desarrollo[55], se vuelve complejo que el proyecto pueda acceder a contratos de suministro en la etapa de acceso al financiamiento ya sea con clientes libres o con empresas distribuidoras. Es decir, la evaluación del proyecto se realizará en base a ingresos a costo marginal, lo cual aumenta el riesgo percibido del proyecto. Esta situación crea una barrera de entrada al aumentar el costo de financiamiento del proyecto.

[55] Por lo menos un plazo mayor a 8 años pensando en las etapas de obtención de licencias, diseño y construcción.

4.3.3 Alternativas de financiamiento y eventuales barreras.

Dado el alto nivel de capital que es requerido para el desarrollo de un proyecto eléctrico, resulta fundamental para el inversionista acceder a fuentes de financiamiento para llevarlo a cabo. Al respecto, en el punto 3.5.2 se caracteriza distintas estrategias revisadas internacionalmente.

A partir de lo anterior, se da cuenta de que si bien existen distintas opciones para lograr el acceso al financiamiento para una central nuclear de potencia, ninguna de ellas permite asegurar el dar cumplimiento de forma exitosa con la tarea que es requerida.

En este sentido, el acceso al financiamiento se vislumbra como una potencial barrera de entrada para un proyecto núcleo eléctrico, dado su intensivo requerimiento de capital (ver sección 3.1.2) y su alto nivel de riesgo dado por incertidumbres políticas, cambios en los marcos regulatorios, retrasos de construcción, entre otros (ver sección 3.5.3).

4.4 Construcción, puesta en marcha y barreras

A nivel mundial, la construcción, puesta en marcha y cierre de las centrales nucleares están sujetas a las condiciones que se establezcan en las licencias necesarias para ejecutar cada una de estas etapas (ver sección 3.2.2). Estos requerimientos, más las características propias de las centrales nucleares, pueden provocar barreras para este tipo de proyectos. A continuación se presenta un análisis para cada una de las etapas anteriormente mencionadas.

4.4.1 Obtención de Licencias y de Concesiones y eventuales barreras

En el caso particular de las centrales nucleares, la LSN establece la necesidad de obtener licencias[56] para cada una de las etapas del ciclo de vida de la planta (Ver 3.2.2), con el propósito conjunto de preservar la operación de la central de forma segura. No obstante, todo el proceso de entrega de permisos de acuerdo a la ley, es regulado por un reglamento que en la actualidad no existe, lo que aumentaría la incertidumbre del inversionista desarrollador del proyecto.

Otro aspecto a considerar, es la exigencia de utilizar terrenos que se determinen como factibles para el emplazamiento del proyecto nuclear. En caso que exista una lista pública de los sitios factibles para el emplazamiento de centrales nucleares, el desarrollador del proyecto podría enfrentar dificultades para poder adquirir los terrenos necesarios.

Una posible solución para este problema consiste en que los proyectos nucleares puedan someterse al esquema de concesiones definido en el DFL Nº4, el que actualmente sólo se aplica para las centrales hidráulicas. El esquema de concesión otorga a los proyectos hidráulicos el poder establecer servidumbres en los terrenos que sean necesarios para el

[56] Este término está definido en el articulo Nº3 de la LSN como: “una autorización o permiso otorgado por la Comisión (CCHEN), a petición de un solicitante, para que éste pueda ejecutar actividades específicas, relativas a la energía nuclear, en instalaciones nucleares o con sustancias nucleares. No obstante lo anterior, aún no se encuentra definido el sistema de licencias propiamente tal, el que debe establecerse mediante la publicación de un reglamento específico.

establecimiento de las instalaciones de la central (terreno a inundar por embalses, las instalaciones de generación y en general todas las instalaciones asociadas al proyecto). Considerar a las centrales nucleares dentro del sistema de concesiones permite en cierta medida mitigar las dificultades que puede encontrar el desarrollador del proyecto al momento de hacer uso de los terrenos factibles para el emplazamiento de sus instalaciones, entregando herramientas legales para llevar a cabo este propósito.

Bajo el contexto del estudio, una de las modificaciones que podría ser incorporada a la regulación eléctrica consiste en la inclusión de las centrales nucleares entre aquellas instalaciones eléctricas que pueden estar sujetas a la opción de acceder a concesión, de manera de otorgar mayores facilidades para ocupar los terrenos factibles de localización, creando a la vez una franja de seguridad para la central.

En resumen, la obtención de permisos y la utilización de los sitios factibles podrían convertirse en barreras de entrada, en la medida que no exista un marco regulatorio adecuado que facilite al desarrollador el hacer uso efectivo de aquellos terrenos definidos como factibles para llevar a cabo un proyecto nuclear, Para lograr este último propósito se vislumbra como una solución factible la incorporación de los proyecto núcleo-eléctricos dentro del esquema de concesión.

4.4.2 Construcción y eventuales barreras

Tal como se menciona en el punto 3.1.3, la construcción de centrales nucleares comprende procesos complejos requiriendo materiales y recursos humanos altamente especializados y de acceso limitado, por lo que estos proyectos se encuentran expuestos a riesgos de retrasos.

En Chile, para las centrales térmicas convencionales no existen exigencias en el marco regulatorio respecto de plazos de construcción, diferenciándolas de las centrales hidráulicas quienes deben cumplir con las exigencias que les impone el sistema de concesión. Las concesiones otorgadas a proyectos hidroeléctricos imponen como requisito el cumplimiento de los plazos de construcción informados por la empresa al momento de solicitar la concesión, de no cumplir con los plazos informados puede verse caducada la concesión.

En el caso particular de una central nuclear, los períodos de construcción pueden verse modificados, ya sea por la inexperiencia de un país en esta tarea, por problemas con los proveedores de tecnología, dificultades técnicas propias de complejas obras de ingeniería como ésta, o por marcos regulatorios incompletos que introducen obstáculos para el desarrollo de la planta.

Por su característica de uso intensivo de capital, retrasos en la construcción de plantas nucleares, implican importantes costos que vienen dados principalmente por el pago de los intereses asociados a la deuda. Adicionalmente, la tardanza en el inicio de las operaciones, implicaría también un retraso en los flujos de ingreso para el inversionista, pudiéndolo llevar incluso a una situación de insolvencia económica. En este sentido, los atrasos en la construcción de los proyectos que se produzcan por responsabilidad de los poderes del Estado deberían estar cubiertos por medidas de compensación.

Considerando lo anterior, la ocurrencia de retrasos durante el periodo de construcción se percibe como una eventual barrera de entrada, distinguiéndose dos posibles razones que pueden motivar tal situación, una del tipo regulatorio y otro relacionado con la realización misma de las obras de construcción.

Respecto al riesgo regulatorio, este se concentra en la realización de los primeros proyectos, a los cuales deberán ser aplicados procesos de obtención de licencias no probados en la práctica. Por otro lado, la construcción de las centrales nuclear presenta desafíos técnicos que exponen a importantes riesgos de no cumplir con el cronograma y el presupuesto del proyecto. Adicionalmente, en el caso de que este tipo de proyectos puedan acceder a concesión, las condiciones para mantener la concesión asociada a retrasos en la construcción, se presenta como otra dificultad para el desarrollo de proyectos nucleares.

4.4.3 Puesta en marcha (commissioning) y eventuales barreras

Dentro del marco regulatorio nacional no existe referencia alguna respecto a la puesta en marcha de una central nuclear. En particular la LSN en su artículo Nº4 establece el requerimiento de una licencia para realizar la puesta en servicio de una central nuclear de potencia (ver sección 4.4.1), sin embargo no se establece de forma explícita las condiciones que deben cumplirse para ejecutar dicho proceso. De forma general, las exigencias impuestas por la LSN para el otorgamiento de las licencias indican que cada titular deberá definir un plan de emergencias (articulo Nº11) y que se realizarán las inspecciones necesarias se manera de dar cumplimiento a las exigencias de la ley y de la misma licencia (articulo Nº20).

La ausencia de una definición explicita para la realización de un programa de puesta en marcha de una central nuclear puede crear una barrera de entrada para este tipo de proyectos, relacionada principalmente a riesgo de retrasos en el comienzo de la operación comercial del proyecto.

Dentro de los principales factores que pueden provocar retrasos durante la puesta en marcha de la planta se consideran: el tratamiento de un cambio en el diseño de las centrales; un cambio del programa de puesta en marcha; y resultados no esperados de las pruebas de seguridad. Es por esta razón que resulta necesario definir de forma explícita en la regulación los requerimientos específicos que debe cumplir la puesta en servicio de una central nuclear de potencia.

4.5 Operación, cierre de la planta y barreras

4.5.1 Operación y eventuales barreras

Otro tema relevante a considerar en el proceso de inversión en una planta nuclear corresponde a los aspectos asociados a la operación de las centrales.

El artículo 138º del DFL4, establece la obligación de coordinación de los agentes que participan de un sistema interconectado, para así cumplir con los objetivos de mantener la seguridad global del sistema, optimizar la operación y garantizar el acceso abierto a los sistemas de transmisión troncal y subtransmisión. El DFL4 obliga a los agentes a

proporcionar toda la información necesaria y pertinente que el CDEC respectivo les solicite, de manera de cumplir con los objetivos anteriormente mencionados. En este sentido, no se identifican condiciones especiales para centrales nucleares respecto a las tecnologías tradicionales.

Junto a esto, el artículo 118º menciona que la operación coordinada en un sistema interconectado deberá cumplir con las normas generales sobre seguridad y calidad de servicio contenidas en la NTSyCS.

En la revisión de la NTSyCS no se vislumbran aspectos que puedan ser considerados como barreras de entrada para la instalación y operación de una planta de energía nuclear en el país. Sin embargo, los requerimientos específicos para su partida (ver sección 3.3.2) y de servicios auxiliares confiables (ver sección 3.3.4) implicará la necesidad de modificaciones a la Norma.

En este sentido, la NTSyCS en su artículo 1-10 establece que cada 4 años la CNE debe realizar una evaluación de la Norma Técnica, frecuencia que resulta suficiente para realizar los cambios necesarios de manera de mitigar la incertidumbre a los posibles inversionistas.

A la luz de los antecedentes anteriormente descritos, las condiciones de operación de una central nuclear no consistirían en una barrera de entrada para un proyecto núcleo-eléctrico.

Lo anterior resulta válido considerando que las particularidades de una central nuclear de potencia serían introducidas dentro de la NTSyCS de forma previa al comienzo de la operación de la planta. El impacto en la operación de la central nuclear está sujeto principalmente a las condiciones impuestas en las licencias, tema que es tratado en la sección 4.4.1.

Es importante destacar que un aspecto central en una operación continua y sin problemas de una central nuclear es el contar con un suministro seguro de combustible nuclear. Sin embargo, en este estudio no ha sido identificado como una barrera, toda vez que se supone que esto está resuelto por el programa nuclear propiamente tal.

4.5.2 Tratamiento de desechos y eventuales barreras

La operación de las centrales nucleares produce desechos que pueden presentar distintos niveles de radioactividad (Ver 3.2.4). Considerando los antecedentes regulatorios ahí descritos, desde el punto de vista del inversionista el marco regulatorio crea incertidumbre respecto a los costos y riesgos asociados al manejo de los desechos radiactivos.

Adicionalmente, si bien la actual regulación se permite el reprocesamiento del combustible nuclear utilizado, no se mencionan las medidas que deben ser tomadas en cuenta con el fin de evitar la proliferación de armas nucleares, hecho que se genera de forma directa con la realización de esta actividad.

Bajo estas consideraciones, el tratamiento de desechos corresponde a una barrera de entrada para un inversionista, dada la incertidumbre de los costos asociados que deben aportan los desarrolladores del proyecto. En este sentido, resulta incierto como estos costos serán prorrateados entre las centrales nucleares que eventualmente sean construidas en el país. Esta

barrera es más compleja en el caso de que existiera un solo proyecto nuclear, debido a que él debería cubrir por sí sólo la inversión y costos variables del tratamiento de desechos.

Una segunda barrera asociada al tratamiento de desechos, radica en el hecho de que la legislación de seguridad nuclear vigente establece que el desarrollador de una central nuclear de potencia deba cubrir los costos del tratamiento de sus desechos. Sin embargo, no se aplica la misma responsabilidad para los desarrolladores de centrales térmicas que emiten desechos al ambiente en forma de gases de efecto invernadero.

4.5.3 Cierre, desmantelamiento y eventuales barreras

El inversionista de un proyecto de generación debe llevar a cabo un análisis de las barreras de salida o eventos que impliquen el cierre o clausura del proyecto dentro de la regulación nacional.

En el caso particular de un proyecto nuclear de potencia, el inversionista debe tener una especial consideración, dada la necesidad de un sistema de licencias que defina criterios para su emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento (3.2.2). Cabe destacar que el desmantelamiento de las instalaciones del proyecto resulta el proceso más complejo y costoso de todas aquellas actividades especiales inherentes al proyecto nuclear (3.2.5).

Desde el punto de vista comercial, las centrales de generación pueden verse enfrentadas a barreras de salida debido a los compromisos comerciales de suministro que puedan haber firmado con clientes libres o con empresas distribuidoras. En el caso de los compromisos con empresas distribuidoras, esta barrera aumenta su complejidad, puesto que la Ley 20.220 introdujo cambios importantes en la materia, estableciendo exigencias adicionales para la quiebra de una empresa generadora en estos casos. Sin embargo esta situación es común a cualquier otro tipo de tecnología de generación y no se vislumbra una necesidad de crear condiciones especiales para centrales nucleares de potencia.

Otro aspecto relevante respecto a este tema se refiere a que la forma de abordar el desmantelamiento de una planta no se encuentra bien definido en la regulación actual. Por un lado, para la obtención de la aprobación del impacto ambiental se deja a cargo del desarrollador del proyecto nuclear declarar de forma detallada la forma de desmantelamiento de las instalaciones. No obstante, el desarrollador del proyecto debe obtener una licencia para poder realizar el desmantelamiento de las instalaciones, para lo cual debe cumplir con resguardos y garantías que actualmente no están definidos en el marco regulatorio. Esta situación provoca incertidumbre en los costos de salida del mercado, lo cual crea una importante barrera de entrada al momento de evaluar el desarrollo de un proyecto nuclear.

5 LA VISIÓN DE LOS TOMADORES DE DECISIÓN DE INVERSIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO

5.1 Objetivo

El objetivo de este capítulo es identificar de primera fuente, a través de entrevistas a los inversionistas y líderes del sector energético en el país, las barreras y riesgos que ve hoy el mercado en la inserción de plantas de energía nuclear en Chile en el largo plazo.

A través de la información a recopilar se buscaba la posible identificación de nuevas barreras o la complementación del capítulo anterior, además del reconocimiento de posibles soluciones que permitan la inserción de una central nuclear en el país.

La Figura 10 presenta de forma gráfica, los principales agentes que inciden en el proceso de toma de decisiones para las inversiones en energía núcleo-eléctrico. Sólo se consideraron agentes privados entre los entrevistados.

Es importante destacar que varios de los entrevistados afirmaron tener sólo un conocimiento general de la tecnología núcleo eléctrica y de sus requerimientos. Por ende, al conocer sólo las generalidades de la industria, es posible que sólo detecten algunas de las restricciones y barreras que enfrentarían estos futuros proyectos.

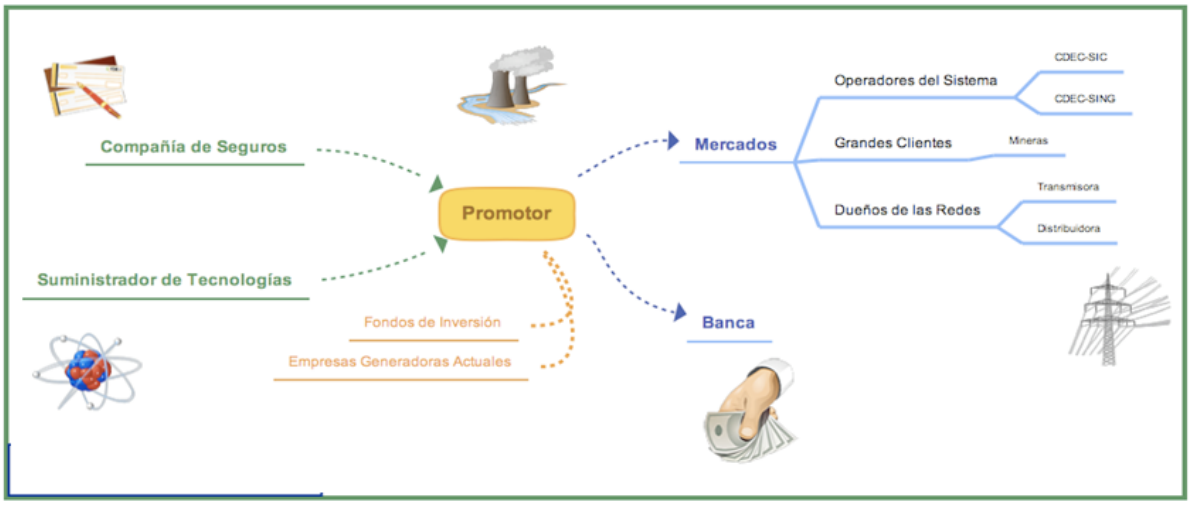


Figura 10: Agentes participantes en el proceso de toma de decisiones para las inversiones núcleo-eléctricas

Para los ámbitos señalados en la figura precedente, se realizaron entrevistas a agentes específicos, a fin de conocer las distintas posturas frente al tema, conocer sus visiones respecto a barreras regulatorias y otros riesgos inherentes al negocio.

5.2 *Preguntas Orientadoras de la Discusión*

En la tabla siguiente se indican los ámbitos de preguntas que orientaron la conversación con los entrevistados, señalando específicamente que temas se buscó tratar con cada agrupación de ellos.

Tabla 4: Ámbitos de preguntas por grupos de entrevistados

	Grupo de entrevistados								
Ambitos de preguntas	Sector Generación	Grandes Clientes	Inversionistas Locales	Banca	Operadores del sistema	Empresas de transmisión	Productores de reactores	Empresas aseguradoras	Lideres de opinión y Politicos
Objetivos/Motivación de la viabilidad nuclear	✓	✓							✓
Asignación de responsabilidades	✓		✓	✓					✓
Identifiación de riesgos del proyecto	✓		✓	✓		✓	✓		✓
Propuetas de mitigación de riegos	✓		✓	✓					✓
Identificación de barreras entrada/salida	✓		✓	✓					✓
Propuestas de mitigación de barreras	✓		✓	✓					✓
Acceso a financiamiento	✓		✓	✓					
Contratación de seguros y otras garantias	✓		✓	✓			✓	✓	
Propiedad del proyecto/Modelos de	✓	✓	✓	✓			✓		✓
Manejo de residuos y cierre de central	✓		✓	✓					
Elección del sitio	✓								
Aspectos de operación del sistema	✓				✓	✓			
Aspectos de planificación	✓				✓	✓			
Aspectos técnicos	✓				✓	✓	✓		
Interconexió SIC-SING	✓	✓			✓	✓			
Seguimiento de huella de carbono		✓							

5.3 *Análisis de las Opiniones*

La siguiente tabla muestra un resumen de los aspectos claves citados por los entrevistados clasificados en ocho temas de interés.

Tabla 2: Aspectos claves de entrevistas

#	Tema	Aspectos Claves
1	**Posición frente a la Energía Nuclear**	• Distintas visiones respecto del tema de la energía nuclear.
		• Visiones principalmente de apoyo.
		• Consideraciones ambientales pueden favorecer el desarrollo de la energía nuclear.
		• Desarrollo nuclear debe ser abordado en acuerdo a largo plazo a nivel país.
2	**Barreras Identificadas**	• Principales barreras se relacionan con existencia o no de voluntad política, aceptación pública y consenso nacional frente a la energía nuclear.
		• La existencia o no de un programa nuclear a nivel de Estado y de una legislación nuclear sólida.
		• Elección del lugar de emplazamiento puede resultar decisión compleja.
		• Probables requerimientos al sistema de transmisión.
		• Amarrarse con una tecnología o país en particular puede ser problemático.
		• Tamaño de la central no resulta barrera.
3	**Medidas que permitirán el desarrollo de proyectos nucleares**	• Se requiere de política de Estado de largo plazo.
		• Compromiso del Estado para lograr aceptación pública.
		• Resolver lugar de emplazamiento es central para desarrollo proyecto nuclear.
		• Rol central del Estado en la decisión del lugar.
		• Estado debiese proveer el terreno a través de una concesión, licitando a privados la construcción y operación de la central.
		• Requerimiento de régimen regulatorio sólido, de institucionalidad nuclear independiente y de sistema de licenciamiento robusto.
4	**Riesgos Identificados**	• Proyectos nucleares presentan riesgos distintos a otras tecnologías
		• Existencia de riesgos políticos, regulatorios y técnicos.
		• Proyectos Greenfield presentarían mayores riesgos por dificultades de financiamiento.
		• Requerimientos de manejo de desechos y desmantelamiento.

#	Tema	Aspectos Claves
5	**Rol del Estado**	• Existen distintas posiciones respecto del rol del Estado.
		• Estado protector y garante del desarrollo nuclear.
		• Estado socio y controlador del proyecto nuclear.
		• Estado neutral no debe forzar ingreso de una tecnología.
		• Titulo de dominio para el desarrollo de proyecto puede servir como señal de compromiso del Estado.
6	**Efectos en el Mercado Eléctrico**	• Ingreso de una central nuclear no generaría impactos importantes al sistema eléctrico en el horizonte considerado.
		• No debiese afectar la competitividad de otros medios de generación.
		• Interconexión SIC-SING se debe evaluar independiente de la alternativa nuclear.
7	**Recursos Humanos**	• Recursos humanos claves en el desarrollo de un programa nuclear.
		• No existe el know-how suficiente en el país.
		• Se requiere de convenios de formación o acuerdos de transferencia tecnológica.
8	**Modelos de Negocio**	• Riesgo del proyecto asociado a definición del modelo de negocios.
		• Opciones atractivas son consorcio entre generadoras y/o grandes clientes.
		• Necesidad comprometer en el desarrollo a empresas con experiencia en temas nucleares.
		• Estructura de financiamiento es otro aspecto clave que condiciona riesgo que enfrenta el desarrollador del proyecto.
		• Contratos de suministro durante la concepción del proyecto permiten garantizar ingresos futuros.
		• Esquema de licitaciones de suministro de distribuidoras permitirían llevar a cabo dicha tarea.
		• Distintas estrategia de financiamiento: modelos PPA, project finance, financiamiento corporativo, entre otros.
		• Clientes mineros dispuestos a contratarse en el largo plazo, pero no a ser partícipes como socios del proyecto.

5.3.1 Posición frente a la energía nuclear

La mayoría de los entrevistados considera la energía nuclear como una opción de interés para el desarrollo eléctrico futuro del país. Para varios, la energía nuclear se transforma en una opción atractiva, ante el desafío de exigencias internacionales en la huella de carbono de nuestros productos de exportación que castiguen una matriz muy carbonizada. Surge también como una alternativa en la medida que se formulen impuestos al CO2 que se traduzcan en un alza de los costos de las centrales a carbón. Un entrevistado argumentó por último que el cambio climático podría amenazar nuestra generación hidroeléctrica.

Es también mayoritario el considerar que el desarrollo de un programa nuclear, y específicamente de proyectos nucleares, debe ser enmarcado en un acuerdo a largo plazo a nivel país.

Los entrevistados consideran que la incorporación de una planta nuclear en el horizonte definido no traería consigo cambios importantes ni en el mercado ni en la operación de este. Esta opinión es compartida por los operadores del mercado y por los grandes clientes mineros.

Uno de los entrevistados planteó la tesis que las tecnologías de captura de CO2 y/o las energías renovables podrían en el largo plazo, por avances tecnológicos y reducciones de costos, resultar más competitivas frente a la opción nuclear.

Un entrevistado planteó su preocupación que Chile esté llegando tarde en la concepción de un programa nuclear, en un escenario de renacimiento nuclear, donde se están requiriendo decenas de unidades al año a nivel mundial, y donde los requerimientos del país pueden ser irrelevantes en un "mercado prime".

5.3.2 Barreras Identificadas

Un número importante de entrevistados está muy condicionado en sus respuestas al desarrollo nuclear, y en su compromiso por su incorporación, por las dificultades que se están enfrentando en el país en desarrollos de grandes proyectos industriales, y particularmente de instalaciones de generación eléctrica. Las dificultades actuales en los procesos de aprobación ambiental y la falta de seguridad en la construcción y explotación de los proyectos, aún cuando se logre una aprobación ambiental, hacen temerosos a estos entrevistados de abordar el desarrollo de un proyecto nuclear, por el riesgo involucrado en una iniciativa de ese tipo. No es menor tampoco, especialmente en la gran industria y en los inversionistas nacionales, la preocupación por el costo político que puede implicar para dichos agentes el involucrarse en un proyecto nuclear.

En ese contexto, se destacan como las principales barreras a un proyecto nuclear la eventual no existencia de voluntad política para el desarrollo nuclear, la no aceptación pública de avanzar en esta dirección, en resumen, la no existencia de un consenso nacional frente a dicha energía. La no existencia de un programa nuclear a nivel de Estado y de una legislación nuclear sólida impediría la incorporación de esta tecnología en el país.

Un segundo nivel de complejidad, que podría crear importantes barreras al desarrollo de un proyecto nuclear, tiene relación con la elección de la localización de la planta. Las dificultades recientes en la localización y desarrollo de plantas de generación hidroeléctrica y termoeléctrica, con un escalamiento de los conflictos locales y nacionales, podrían hacer inviable para una empresa privada, según indicaran la mayoría de los entrevistados, lograr la aprobación de la localización de una central nuclear. Si bien es una decisión con importantes requerimientos técnicos, particularmente geotécnicos, la relación con asentamientos humanos existentes o futuros complejiza la decisión.

Por otro lado, los entrevistados coinciden en que la inexistencia en la legislación vigente de aspectos específicos relacionados con el licenciamiento y seguridad de una central nuclear, se presenta como una barrera que debe ser levantada para llevar a cabo un proyecto de este tipo.

En otro contexto, se destaca la visión de uno de los operadores del sistema, quien levanta el tema del sistema de transmisión asociado, dado el requerimiento de desarrollar vías de evacuación para una central de esa envergadura. Indica adicionalmente que es necesario plantear una solución sistémica, en vista que el desarrollo actual de la transmisión se hace de manera desordenada, sin la consideración de un crecimiento orgánico.

Finalmente, algunos entrevistados manifestaron su inquietud respecto al tema de la elección de la tecnología nuclear, camino que algunos países han elegido a nivel de Estado, incluso formulando acuerdos macro con países que han desarrollado una tecnología en particular. Esto, desde el punto de vista de los entrevistados puede transformarse en una barrera de entrada, limitando la competencia.

En relación al tamaño de la central, los entrevistados coinciden en que si bien hoy el tamaño de una planta nuclear, tal como las que evalúa la autoridad, resulta de tamaño importante respecto al total del mercado, dicho escenario no será el mismo después del año 2025, por lo que no habría problemas en su conexión, menos aun si se consideran tecnologías de menor tamaño.

5.3.3 Medidas que permitirían el desarrollo de proyectos nucleares

Los entrevistados plantean que un requisito fundamental a cumplir, y que facilitaría el desarrollo de proyectos núcleo-eléctricos, es que exista una política de Estado a largo plazo respecto a este recurso energético, donde la sociedad en su conjunto elige este como un camino de desarrollo. Para esto, el Estado debe comprometerse a lograr los necesarios consensos a nivel de la población sobre las bondades de la energía nuclear, reconociendo los ejemplos de referencia a nivel internacional donde esta es una alternativa energética, sus fortalezas y sus debilidades.

Respecto a la elección del lugar de emplazamiento de las centrales nucleares, existe coincidencia en que esta corresponde a una decisión con una alta componente técnica, pero con connotaciones políticas y sociales que deben ser abordadas simultáneamente, por el riesgo involucrado. En general se manifiestan de acuerdo con aplicar el concepto de concesión a esta materia, frente a un sistema actual de aprobación de permisos que no funciona adecuadamente. En el concepto formulado, el Estado elige lugares de emplazamiento de centrales nucleares, ofreciéndolos como concesiones a desarrolladores de proyectos en licitaciones a nivel internacional, donde sea el privado el que elija y ejecute la opción que le resulta más atractiva. Incluso, algunos de los entrevistados sostienen que además de proveer el terreno y la concesión, se debería aprobar con antelación los elementos base del estudio de impacto ambiental, con las debidas precauciones planteadas en la sección 4.1.4. Se sugiere que la elección de emplazamientos se debe basar en al menos dos estudios técnicos independientes para varias zonas, considerando aspectos geotécnicos y ambientales. Uno de los entrevistados planteó establecer un mecanismo de concesión similar al que obras públicas utiliza actualmente con el sistema de autopistas en el país.

Uno de los entrevistados sugiere que el estudio de impacto ambiental, y principalmente la instauración de un sistema de concesiones, podría servir como señal de compromiso del

Estado, a través de una entrega de “título de dominio”, semejante a lo que actualmente ocurre con la geotermia.

La existencia de un marco regulatorio sólido en relación con el licenciamiento y seguridad de centrales nucleares, incluyendo a la institucionalidad supervisora independiente que de confianza a la sociedad, es evidentemente condición necesaria para el desarrollo de proyectos de inversión.

5.3.4 Riesgos identificados

En las entrevistas realizadas existe coincidencia en que este tipo de tecnología presenta un riesgo elevado para el inversionista. Este riesgo proviene de:

- Riesgos regulatorios y políticos asociados a que el país decida a mitad de camino no seguir con la energía nuclear, o que se modifiquen en el tiempo de los estándares de seguridad que estas deben cumplir.
- Alto impacto comunicacional de accidentes nucleares, considerando que un accidente nuclear en algún país del mundo podría paralizar una central nuclear en construcción en el país.

Estos riesgos recaen fuertemente sobre los inversionistas, sobre todo si no tienen claridad respecto a quien debe asumir los costos de interrumpir un proceso de construcción nuclear (5 a 10 años) a medio camino, hecho que resulta principalmente complejo dado los altos montos de capital comprometidos en el desarrollo de una planta nuclear. Algunos entrevistados plantearon que los riesgos asociados a la detención de un proyecto no sólo afectan al desarrollador del mismo, sino también al resto del sistema, al menos en el mediano plazo. Lo anterior, producto que el proyecto nuclear puede haber desplazado inversiones de generación, y por tanto el sistema debe esperar a que estos proyectos se reactiven para lograr sobreponerse a la paralización de una inversión nuclear. Por lo demás uno de los entrevistados sugieren que los desarrolladores de la tecnología nuclear no están presentes en Chile, y en su condición de nuevos entrantes podría ser difícil comprometer su participación en el mercado eléctrico nacional.

Para mitigar los riesgos comerciales de las centrales nucleares, los entrevistados nuevamente argumentan la necesidad de definir de forma clara la composición y responsabilidades de una institucionalidad nuclear, independiente, objetiva, técnica y sin matices políticos. Además coinciden en que es necesario estructurar un sistema de licenciamiento y una adecuada norma técnica nuclear.

De acuerdo a los entrevistados, el riesgo regulatorio y político de cambios en la regulación debe ser asegurado a través de la definición de una institucionalidad independiente del gobierno de turno, citando como ejemplo el Banco Central. Adicionalmente, los entrevistados sugieren como alternativa la creación de garantías reales de devolución del monto de la inversión, a modo de bono, contra el compromiso del Estado.

Otro de los riesgos que destacan los entrevistados se refiere a que la regulación debe ser concebida de manera genérica, pero con consideraciones normativas para cada tecnología existente, de manera de presentar flexibilidad y no transformarse en sí misma en una barrera

al momento de requerir ser aplicada. Adicionalmente uno de los entrevistados sugiere que la legislación debe tener aspectos similares a los que presenta actualmente la ley ERNC.

Respecto al esquema actual de aprobaciones de desarrollo eléctrico vía concesión, definido en el DFL Nº4, y vía regulación medioambiental, uno de los entrevistados realiza una fuerte crítica al esquema actual, al que cataloga como débil. Indica como modelo el ejemplo de Brasil y su desarrollo hidráulico, con licitaciones de proyectos o lugares para establecer una planta de este tipo, que son previamente concesionados y aprobados ambientalmente.

En relación a la elección de la tecnología nuclear, hay opiniones encontradas. Algunos entrevistados indican que si bien no existen riesgos asociados al tamaño de la central, se presenta un riesgo en la elección del tipo de tecnología y a posibles acuerdos internacionales alcanzados para este fin, en el sentido que dicha decisión podría generar como resultado el amarrarse con un solo país proveedor, limitando la competencia. Otros afirman que se debe conseguir el llegar a acuerdo con un país experto en el tema nuclear y definir una tecnología en base a dicha elección. Por ejemplo, mencionan que los franceses forman los equipos, hacen los estudios, operan y recién después de varios años traspasan la responsabilidad a operadores locales.

Finalmente, uno de los entrevistados destaca que se debe considerar que los distintos diseños también vienen de la mano con distintos tipos de combustibles y orígenes, lo que también debe de ser tomado en consideración al momento de la elección de la tecnología.

Por último, los entrevistados coinciden en que los proyectos greenfield tienen riesgos adicionales a los enfrentados por los generadores incumbentes, y le es más difícil el acceso al financiamiento por el hecho de carecer de un respaldo establecido en el sector. Dado lo anterior, los bancos preferirían un desarrollo que considere a empresas de generación existentes.

5.3.5 Rol del Estado

Respecto a la intervención del Estado para lograr el ingreso de la energía nuclear al país existen posiciones variadas. Una gran mayoría, enfatizando su defensa de un estado subsidiario que sólo regule y deje al sector privado competir en el mercado eléctrico, cree conveniente, por las particularidades de la tecnología nuclear, que el Estado se involucre en alguna medida, asegurando la incorporación de la energía nuclear en un ambiente que puede ser muy complejo. Varían sin embargo las opiniones respecto a los niveles de involucramiento del Estado.

Se argumenta que la participación del Estado resulta fundamental para asegurar el pronunciamiento de los grandes actores de la sociedad frente al desarrollo nuclear. En este sentido, el Estado puede actuar como un facilitador que permita disminuir el riesgo de capital del inversionista, actuando como aval o entregando garantías adecuadas. Este hecho resulta principalmente relevante para el desarrollo de la primera planta de este tipo, asegurando un marco político estable que provea una visión de largo plazo al inversionista nuclear.

De esta forma, el Estado se transformaría en un “escudo”, sin participar en el negocio, o participando en el negocio sin ser el controlador de la sociedad. A través de esta figura la

responsabilidad en el proyecto se centrará en la regulación y en dar seguridad al desarrollo de la planta, otorgándole además agilidad y certidumbre al proceso. Algunos actores indican que el Estado debe ser cuidadoso con su intervención en el proyecto, dado que el abuso de esa intervención puede entregar señales equívocas y jugar en contra de la competitividad del mercado.

De forma adicional a lo anterior, uno de los entrevistados indica que el Estado debe ser el encargado de proveer de seguros por daño, dada la magnitud que implican dichos seguros. En su opinión, estos seguros sólo deben dar cobertura ante daños y como respaldo en el período de construcción. No ocurrirá lo mismo durante el período de operación, donde la central nuclear debe competir en el mercado sin coberturas adicionales.

Finalmente, interesados en el desarrollo nuclear, señalan que el Estado podría participar como socio en forma acotada, a través de un Public Private Partnership, donde un 50 % de la inversión es conseguida mediante contratos con privados y el restante 50% es asegurado con garantías del Estado.

Finalmente, otros señalan que el Estado no debe forzar el ingreso de la energía nuclear y por tanto mantenerse neutral a la tecnología. Argumentan que la participación del Estado en un proyecto nuclear podría generar incertidumbres, por la vulnerabilidad de una empresa estatal desarrollando proyectos y logrando soluciones ineficientes, como el caso de otras iniciativas recientes.

5.3.6 Efectos en el mercado eléctrico

Los tomadores de decisión entrevistados coinciden en que no se debería generar mayores complicaciones con la inserción de una central nuclear en el mercado eléctrico chileno, y que si bien se requerirán modificaciones en las prácticas actuales, estas no involucrarían restricciones adicionales. Lo anterior, dado que una central nuclear en el período 2025 – 2030, período donde se evalúa el ingreso de la primera central, no representaría más de un 7 % de la capacidad instalada. Uno de los entrevistados señala que la operación no se afectaría en lo absoluto, inclusive con un nivel de penetración nuclear de 20 %.

Se plantean visiones encontradas respecto a cómo manejar costos no tradicionales de una central nuclear, no presentes en otras tecnologías, léase costos de desmantelamiento, manejo de desechos y otros costos característicos. La mayor parte de los entrevistados sugieren que se consideren como costos de operación, aunque otros los consideran como costos fijos, que harán más o menos competitiva la tecnología. Uno de los operadores del sistema actual no es partidario de la incorporación del costo de desmantelamiento en el costo variable no combustible. Lo anterior, dado que otros generadores podrían plantear la incorporación de costos especiales que presenten las tecnologías tradicionales, y que a la fecha no son considerados.

En otro aspecto, uno de los entrevistados destaca que la generación nuclear no debería afectar la competitividad de otros medios de generación como las ERNC, presentándose como una tecnología complementaria. Por lo demás indica que la energía nuclear debiese cumplir con las mismas exigencias que actualmente presentan las centrales hidroeléctricas.

Un tema abordado por los entrevistados se refiere a la interconexión de los sistemas SIC-SING, en el que coinciden que deberá ser estudiado de forma independiente a la incorporación de la generación nuclear. No obstante lo anterior, este hecho podrían crear oportunidades de limpiar la matriz energética del SING. Adicionalmente, uno de los entrevistados indica que la inversión debiese considerar de forma integrada tanto la generación como la transmisión.

5.3.7 Recursos humanos

Existe coincidencia entre los entrevistados en la necesidad de desarrollar recursos humanos asociados al tema de la generación núcleo – eléctrica, desafío aún más relevante cuando a nivel internacional no hay recursos humanos para sostener el "renacimiento" nuclear.

Al respecto, se indica la necesidad de un Estado proactivo y no reactivo que garantice la formación del recurso humano suficiente, particularmente para la institucionalidad regulatoria que debe crearse. Se presenta inquietud frente a la inexistencia del "know how" suficiente en el país para la instauración de un programa nuclear, el que requeriría de alrededor de 10 años para poder ser suficientemente desarrollado.

Dado que la formación de personal calificado resulta clave en el desarrollo de un programa de este tipo, resultaría atractivo establecer convenios de formación con países que hayan desarrollado la tecnología, a modo de socio estratégico, a través de becas de formación profesional y pasantías en plantas de este tipo, o acuerdos bilaterales que permitan la transferencia tecnológica, compromiso que puede ser pactado con dos países simultáneamente, sin amarrarse a tecnologías.

5.3.8 Modelos de negocio

Respecto al tema de los modelos de negocios que debe configurar el desarrollador de un proyecto nuclear, destaca la coincidencia entre los entrevistados que, dado el alto nivel de riesgo que involucra el proyecto, se debe buscar la diversificación de este riesgo.

Una de las alternativas propuestas consiste en el emprendimiento de un consorcio entre empresas generadoras y/o grandes clientes (como las empresas mineras), al estilo de lo realizado en Chile entre Colbún y Endesa, en el caso de HidroAysén, o el caso de la llegada del GNL en el norte. Sin embargo, existen otras posturas que llaman a prestar atención respecto a que un consorcio de empresas podría resultar atractivo para un proyecto en sí, pero podría ser peligroso desde el punto de vista de la coordinación del mercado, generando riesgo de competencia.

Adicionalmente, uno de los entrevistados sostiene que en el desarrollo del proyecto deben de estar fuertemente comprometidas empresas con experiencia en temas nucleares, principalmente proveedores de tecnología y países que presenten interés en llevar a cabo una planta de este tipo en países en desarrollo, de manera de darle agilidad y fortaleza al proceso.

Un segundo tema que preocupa a los tomadores de decisiones en el mercado eléctrico del país se presenta en el hecho de cómo estructurar el financiamiento con plazos de construcción largos e inciertos.

En un primer término, uno de los entrevistados indica que no tiene sentido llevar adelante un proyecto de este tipo sin establecer contratos de suministro durante la concepción de éste, u otro tipo de mecanismos para garantizar los ingresos futuros de la planta, dado que el proyecto no resulta viable con la venta spot a costo marginal en mercados competitivos.

Como alternativa, varios de los entrevistados indican que los procesos de licitación de suministro con empresas distribuidoras pueden ser utilizados como herramienta útil, de manera de garantizar los ingresos futuros de la central, donde se podría obligar a que un cierto porcentaje de la energía requerida provenga de la energía nuclear. Sin embargo, son ellos mismos quienes indican que la longitud de los contratos a 15 años plazo pueden ser problemáticos. Por lo demás, muchos clientes mineros presentan contratos a plazos aún menores. No obstante lo anterior, grandes clientes mineros se encuentran dispuestos a firmar contratos de suministro de largo plazo, esto es, de 10 a 15 años.

Respecto a los modelos de financiamiento propiamente tal, no existe una visión definida entre los tomadores de decisión. Algunos de los entrevistados indican que un PPA o un Project Finance para proyectos eléctricos de 1.000 MW no debiese ser un problema, más aún al considerar clientes mineros como participantes en el trato, quienes presentan hoy una estructura de costos donde el consumo de energía representa entre un 15% y un 23% de sus costos totales.

Por otro lado, existe una visión completamente opuesta en otros entrevistados quienes indican que, dados los tiempos de desarrollo de un proyecto nuclear, y desde el punto de vista comercial, la aplicación de una estrategia de contratación convencional (PPA) no sería factible con estos proyectos.

Adicionalmente, uno de los entrevistados sugiere como alternativa un modelo en que varios socios comparten propiedad, y financian el proyecto vía project finance, donde el “offtaker” se compromete a pagar la inversión se use o no la planta, en un estilo similar a lo que ocurre con los actuales proyectos GNL del país.

Se sugiere además un modelo conocido como “Equity a riesgo”, donde la deuda es garantizada por el sistema.

Finalmente, uno de los entrevistados sugiere la consideración de sistemas de seguros comerciales, del tipo opciones, como una forma posible para efectos de conseguir contratos en pro del financiamiento de la central. En este sentido, los derivados financieros se presentan como una alternativa a ser tomada en cuenta.

Desde el punto de vista de los grandes clientes, principalmente clientes mineros, los entrevistados coinciden en que resulta poco probable que éstos intervengan en el negocio nuclear más allá de ser un activo cliente. Asimismo, no ven probable la participación en la propiedad o en la inversión inicial, dado que la rentabilidad es más alta en el negocio minero que en el eléctrico.

Adicionalmente, los entrevistados no creen posible que una empresa minera se contrate con tanta anterioridad, señalando que las compañías de este tipo trabajan a cinco años plazo y que, por ende, firmar un contrato 8 años antes del inicio del suministro es altamente improbable. Lo anterior agrega incertidumbre a la consecución de contratos de suministro en el período de financiamiento de una planta nuclear.

SISTEMATIZACIÓN DE BARRERAS IDENTIFICADAS PARA LA INCORPORACIÓN DE LA OPCIÓN NUCLEAR

En este capítulo, se realiza la sistematización de las barreras detectadas asociadas a la energía nuclear que fueron identificadas en los capítulos anteriores, de acuerdo al grado de impacto que generan en la toma de decisiones del inversionista. Las barreras han sido clasificadas en las siguientes categorías:

- Barreras que afectan la viabilidad del proyecto: Este tipo de barreras pueden podrían generar situaciones en las que no existan inversionistas interesados en desarrollar un proyecto nuclear. Esto se produciría debido a la incertidumbre asociada a la posible cancelación del proyecto por parte de la autoridad antes, durante y posterior a la construcción del proyecto.
- Barreras que crean incertidumbre en los costos financieros: Este tipo de barreras podrían generar la reducción de la competitividad de un proyecto nuclear, debido al requerimiento de un mayor monto de inversión. Esto se produciría debido a la percepción de mayores riesgos asociados al proyecto (mayor exigencia de tasa de retorno por ejemplo) y a retrasos en la obtención de permisos o en la construcción.
- Barreras que crean incertidumbre en los costos operacionales: Este tipo de barreras reducen la competitividad del proyecto nuclear, debido a mayores costos operativos. Esto se produciría dada la incertidumbre para estimar costos no tradicionales relacionados con la energía nuclear (desmantelamiento, tratamiento de desechos y seguros de responsabilidad civil).

A continuación se presenta una matriz que resume la sistematización descrita anteriormente, aplicada a las barreras de entrada identificadas en el capítulo 4.

Tabla 5: Barreras que afectan directamente la decisión de inversión de un proyecto núcleo-eléctrico.

Barreras asociadas a proyectos núcleo-eléctricos en Chile.			
6.1 Barreras que afectan la decisión de inversión			
BARRERAS	DESAFÍOS	IMPACTO	SOLUCIONES FACTIBLES
6.1.1 RIESGO REGULATORIO Y POLÍTICO	Crea incertidumbre respecto a eventuales cambios del apoyo politico hacia la energía nuclear.	- Posible veto a la energía nuclear. -Eliminación de garantías e incentivos.	- Marco regulatorio que cree garantías. - Sistema de compensaciones. - Otorgar concesiones definitivas. - Estado como socio del proyecto.
6.1.2 ACEPTACIÓN PÚBLICA	Es indispensable para que se mantenga el apoyo del Gobierno hacia la energía nuclear. La aceptación publica es importante tanto a nivel nacional como en la comunidad local aledaña a los sitios de instalación	-Rechazo a nivel nacional: Puede provocar veto a la energía nuclear. - Rechazo a nivel local: Barreras a proyectos específicos.	- Creación de un programa de adecuación de la opinión publica. - Establecer compensaciones a la comunidad local.
6.1.3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	La elección del sitio requiere, debido a su relación con la seguridad nacional, de la participación del Estado. Al mismo tiempo, se requiere de su intervención para que puedan ser usados los terrenos factibles.	Sin el apoyo del Estado, el desarrollador podría tener problemas para utilizar los terrenos factibles. - Oposición de su venta. - Especulación de precios. - Creación de polos urbanos en zonas proximas a las instalaciones de la central.	-Privilegiar el uso de terrenos fiscales. - Realizar expropiaciones. - Entregar concesión de los terrenos. - Considerar una zona de seguridad alrededor de las instalaciones.
6.1.4 OBTENCIÓN DE LICENCIAS Y/O CONCESIONES	El sistema de licencias debe ser definido de manera que no cree retrasos en el desarrollo de proyectos nucleares. Dentro de los desafíos a superar es definir quien tiene el poder de otorgar las licencias y de regular la participación publica.	Retrasos en diferentes etapas de desarrollo del proyecto. Sobrecostos por mayores exigencias de seguridad desde el inicio de la solicitud. Eventual necesidad de renovación de licencia de operación agregaría incertidumbre.	-Flexibilidad en la integración o división de las licencias. - Tiempo de vigencia de acuerdo a la vida útil del proyecto. - Un solo organismo técnico sea el encargado de otorgar las licencias. - La participación ciudadana debe estar bien definida y acotada. - Establecimiento de compensaciones por retrasos de los organismos públicos responsables.

Tabla 6: Barreras que crean incertidumbre en los costos financieros.

Barreras asociadas a proyectos núcleo-eléctricos en Chile.			
6.2 Barreras que crean incertidumbre en los costos financieros			
BARRERAS	DESAFÍOS	IMPACTO	SOLUCIONES FACTIBLES
6.2.1 CONSTRUCCIÓN	Construcción de centrales nucleares es un proceso complejo y de mayor duración en comparación a otras centrales térmicas convencionales.	Mayores costos de inversión (intereses intercalarios). Difícil estimación de presupuesto. Riesgos para cumplir contratos de suministro.	- Contratos EPC correctamente definidos y en concordancia con las exigencias del sistema de licenciamiento. - Exigencia de certificación de contratistas. - Acuerdos internacionales de transferencia tecnologica
6.2.2 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	Sistema de impacto ambiental puede tener procedimientos comunes, creando redundancias.	Sobrecostos asociados a la generación de estudios del impacto ambiental. Mayores tiempos para la obtención de los permisos.	- El impacto ambiental es integrado dentro del sistema de licenciamiento. - Estudios aprobados tengan validez tanto en el SEIA como en el sistema de licenciamiento.
6.2.3 ACCESO AL FINANCIAMIENTO	Mayores riesgos de proyectos nucleares. Mayor uso de capital. Mayores plazos de retorno del capital. Método de project finance no aplica.	Eventual rechazo de financiamiento. Financiamiento mas costoso (mayor tasa de retorno). Empeoramiento en la clasificación de riesgo.	"- Conformación de consorcios públicos-privados. - Incluir como socios a grandes clientes y a suministradores de tecnología. - Estado entrega garantías, seguros y coberturas."
6.2.4 ACCESO A CONTRATOS EN LA ETAPA DE FINANCIAMIENTO	Largos periodos de construcción provoca dificultad en firma de contratos de suministro durante la etapa de acceso a financiamiento.	Mayor apreciación de riesgo al proyecto provoca exigencia de mayor tasa de retorno.	"- Incorporación de grandes clientes como socios. - Flexibilización del sistema de licitaciones para suministro de EEDD. - Uso de centrales nucleares modulares de tamaño medio. - Incentivos regulatorios para el uso de energía núcleo-eléctrica. - Obligación del uso de energía núcleo-eléctrica: todos los generadores acuden a pagar costos variables y capacidad del proyecto nuclear."

Tabla 7: Barreras que crean incertidumbre en los costos operacionales.

Barreras asociadas a proyectos núcleo-eléctricos en Chile.			
6.3 Barreras que crean incertidumbre en costos operacionales			
BARRERAS	DESAFÍOS	IMPACTO	SOLUCIONES FACTIBLES
6.3.1 RECONOCIMIENTO DE COSTOS NO TRADICIONALES	Actualmente la definición de costo variable no reconocería costos no tradicionales de centrales nucleares.	La remuneración de ventas spot podría no recuperar los costos operacionales (en el caso de que la central margine en su barra de inyección). Los costos no tradicionales de una central nuclear (desmantelamiento, tratamiento de desechos) pueden provocar la perdida de competitividad. Lo cual en ningun caso es una barrera regualtoria, sino de la tecnología.	- Reconocimiento de costos no tradicionales que correspondan dentro del costo variable. Central nuclear es despachada según criterio técnico y económico - Traspaso de costos dentro de los contratos de suministro con clientes libres. -Traspaso de costos a la tarifa final de los consumidores. -Pago directo de costos no tradicionales mediante presupuesto nacional.
6.3.2 COSTOS DE MANEJO DE DESECHOS NUCLEARES	La operación de centrales nucleares produce desechos radiactivos que deben almacenarse de forma segura por miles de años. Los desarrolladores del proyecto nuclear deben pagar su manejo.	No existe solución implementada, incluso después de 50 años del inicio del desarrollo de la industria. Se debe decidir si los desechos serán almacenados en territorio nacional o en el exterior. Es difícil estimar los costos. Es difícil estimar cuantos desarrolladores de proyectos cubrirán la inversión del repositorio.	- Almacenamiento en algún repositorio en el exterior. Los costos serian fijados mediante contratos. - Almacenamiento en algún repositorio ubicado en territorio nacional. La construcción y administración debe ser realizada por el Estado o por alguna empresa especializada. - Los fondos para cubrir el manejo de los desechos puede ser realizado en cuotas recaudadas desde los ingresos de las centrales. - Debe establecerse como será cubierta la inversión de un repositorio nacional.
6.3.3 COSTOS DE DESMANTELAMIENTO	El cierre de centrales nucleares requiere de una mayor inversión y tratamiento más especializado que centrales térmicas tradicionales. El monto de la inversión es difícil de estimar.	Medidas de cobertura impuestas por el Estado obligan que los desarrolladores de los proyectos nucleares deban cubrir anticipadamente la inversión para el cierre de la planta nuclear.	-Existen tres metodologías: cierre temprano, cierre tardío o encerramiento. -Medidas de cobertura: prepago o pago a lo largo de la vida útil del proyecto. -El pago en cuotas puede ser en base a los años de vida útil o la energía total esperada. -El monto de la inversión puede ser estimado de forma auditada o heurísticamente.
6.3.4 SEGUROS DE RESPONSABILIDAD CIVIL	Los desarrolladores del proyecto nuclear son los únicos responsables ante daños causados por accidentes nucleares. La responsabilidad civil no excluye eventos de fuerza mayor. Se debe definir un limite de dinero y tiempo para la compensación cubierta por el seguro. Se debe definir adecuadamente la definición de "daño nuclear".	Incertidumbre en los costos del seguro. Primeros proyectos enfrentarían mayores costos debido a una peor clasificación de riesgo.	- Marco regulatorio debe definir claramente el daño nuclear, eventos no cubiertos por el seguro, el limite de dinero y tiempo para la compensación. - Permitir el acceso de pools a aseguradores internacionales. - El Estado puede entregar beneficios para conseguir seguros a los primeros proyectos nucleares.

5.4 Barreras asociadas a la viabilidad del proyecto.

En esta sección se consideran barreras que pueden afectar la decisión de un inversionista para participar en un proyecto núcleo-eléctrico. Dentro de estas barreras se considera el requerimiento de la existencia de un consenso a nivel nacional a favor del uso de la energía nuclear durante todo el periodo involucrado al desarrollo de un proyecto nuclear. En este sentido se considera la necesidad de contar con un apoyo por parte de la opinión pública y

que esto sea traducido en un apoyo político. Por otra parte se identifica como una importante barrera contar con un lugar factible para el emplazamiento de las instalaciones del proyecto.

5.4.1 Riesgo Regulatorio y Político

Uno de los prerrequisitos fundamentales para la viabilidad de un proyecto nuclear consiste en la definición, por parte del Estado, de un programa nuclear que incluya la formación de un marco regulatorio que permita y garantice la operación segura de sus instalaciones, sujeto al cumplimiento de ciertas obligaciones y garantías (Ver 1.3).

El riesgo regulatorio y político podría abarcar tres aspectos:

- Necesidad de la obtención de un permiso que debe ser emitido por el gobierno y confirmado por el congreso.
- Eventual revocación del permiso de un proyecto en particular, o de alguna ley que prohíba la construcción y/o operación de centrales nucleares de potencia.
- Eventual cambio en el marco regulatorio respecto a las condiciones de diseño, construcción, puesta en marcha, operación y desmantelamiento de una central nuclear.

Una de las mayores complejidades que implica el riesgo regulatorio y político ocurre dado al extenso horizonte de tiempo que considera el desarrollo de un proyecto nuclear. En este sentido, el periodo transcurrido desde el inicio de la construcción hasta su desmantelamiento puede abarcar más de 100 años[57], por lo que debe existir un compromiso país con características sostenibles en el tiempo, de manera de dar respaldo al desarrollo de la energía nuclear.

Un cambio en el compromiso del gobierno puede producirse debido a eventuales cambios en la política energética que imponga algún futuro poder del Estado. De esta forma, la permanencia de un fuerte compromiso de la autoridad de turno se fundamenta en los objetivos iníciales que justifican el desarrollo de una tecnología como la nuclear.

Aún así, incluso sin la necesidad de la existencia de un cambio respecto a la conveniencia del uso de la energía nuclear por parte del Estado, su compromiso puede sufrir modificaciones debido al surgimiento de mayoritario rechazo público frente al tema. En este sentido, un eventual cambio de la opinión pública puede significar un gran riesgo político para el inversionista.

De este modo, el riesgo regulatorio y político tiene asociado los siguientes impactos para el desarrollo de centrales nucleares:

- A pesar de tener aprobado los permisos técnicos necesarios, el inversionista puede verse incapacitado de llevar a cabo el proyecto debido a la falta de compromiso

[57] Considerando: 10 años de diseño y construcción; entre 40 y 60 años de operación; y 30 años o más para su desmantelamiento. Considerando retrasos y mayor tiempo para la postergación del desmantelamiento, este periodo puede ser incluso mayor.

político. De hecho, existen países que prohíben el desarrollo de proyectos núcleo-eléctricos dentro de su territorio, ejemplos de esta situación lo constituyen Austria[58] y Grecia.

- Puede verse enfrentado a un eventual cambio en el marco regulatorio que establezca la postergación o indefinición total de uso de la energía nuclear. Esto produciría el cierre de centrales en operación y cancelación de nuevos proyectos. En el peor de los casos puede cancelarse un proyecto en una etapa avanzada de construcción, con lo cual se imposibilitaría la recuperación de las inversiones realizadas a la fecha.[59]
- Puede verse enfrentado a un eventual cambio regulatorio que establezca la prohibición del desarrollo de nuevos proyectos, pero que permitiera el término de la vida útil de los proyectos existentes. En este caso se generaría una barrera de entrada crítica para nuevos proyectos, sin sufrir impactos significativos las plantas que se encuentren en operación. En este sentido podría producirse la pérdida de las inversiones realizadas para la construcción de nuevos proyectos). [60]
- Puede verse enfrentado a un eventual cambio en el marco regulatorio, imponiendo medidas de seguridad adicionales a las dimensionadas por el desarrollador en una etapa inicial del proyecto, hecho que podría significarle costos no previstos. Otro riesgo relevante es dado por un eventual cambio en la política de incentivos o garantías, elementos relevantes para llevar adelante un proyecto nuclear. Específicamente el apoyo del Estado respecto a los seguros de responsabilidad civil (ver sección 4.1.3) resulta fundamental en el desarrollo de un proyecto nuclear.

Dada la naturaleza del riesgo regulatorio y político, no se identifica una solución probada que elimine completamente la incertidumbre para el inversionista. No obstante, el Estado debe entregar señales de compromiso en el largo plazo que busquen mitigar el problema y que sean suficientes para que el privado desarrolle el proyecto. En este sentido se deben definir claramente las condiciones y garantías para la obtención y conservación de los permisos necesarios. En última instancia, se deben definir un sistema de concesiones en los casos que por negligencia del Estado se produzcan retrasos o revocaciones unilaterales los permisos obtenidos por los desarrollares de un proyecto nuclear.

[58] El 9 de julio de 1997 el parlamento austriaco decidió mantener la política antinuclear.

[59] Un ejemplo de esta situación se dio en Italia y Alemania. En el primer caso, el abandono de la energía nuclear se decidió en el año 1987 a través de un referéndum. A esa fecha existían 4 centrales nucleares de potencia operando en ese país, produciéndose en 1990 el cierre de la última de estas centrales. En el caso de Alemania, se decidió en el año 2000 el abandono del uso de la energía nuclear. Sin embargo se planificó la realización gradual de las instalaciones nucleares. En el año 2002 se esperaba el cierre de las 19 centrales nucleares de ese país. Sin embargo, en ambos países se actualmente se reevalúa volver a permitir el uso de la energía nuclear.

[60] Un ejemplo de esta situación lo constituye España, país en el cual durante el año 1991 se canceló la construcción de 5 centrales nucleares. Con el objetivo de compensar a las empresas perjudicadas, el gobierno español estableció desde el año 1997 hasta la actualidad la llamada moratoria nuclear, la cual permite la recuperación del perjuicio ocurrido a través de la cuenta de consumo eléctrico.

La definición de medidas de mitigación para el riesgo regulatorio y político es desarrollada bajo dos escenarios. El primero de ellos da cuenta de un proyecto completamente privado, mientras que el segundo se presenta bajo un modelo de negocios PPP[61]. Bajo la experiencia internacional, se observan distintos tipo de señales de compromiso por parte del Estado al desarrollo nuclear, dependiendo del escenario a considerar:

- Modelo privado: Este modelo sólo se observa en EE.UU., país que establece un particular programa de incentivos y garantías para el desarrollo de nuevos proyectos nucleares.
    - Internacionalmente, se observa la necesidad de un marco regulatorio que permita y regule de forma explícita la operación de centrales nucleares. La decisión política de aprobar proyectos nucleares puede ser establecida de forma genérica, o independiente y en detalle para cada proyecto.
    - Dentro del marco regulatorio, se incluyen incentivos y garantías que levanten barreras de entrada a la energía nuclear, principalmente como beneficios para los primeros proyectos. (Ver sección 5.4.4)
    - Se establecen compensaciones en caso de cambios en las reglas del juego. Esta medida debería ser establecida ex-ante, con el objetivo mitigar el riesgo regulatorio y político antes del momento de realizar la decisión de la inversión de un proyecto nuclear.
    - En el caso particular de Chile, sería conveniente modificar el sistema de concesiones incorporando a proyectos nucleares. Esto permitiría que la revocación de la concesión se realice de forma justificada (Ver sección 6.1.3).
- Modelo PPP: Este modelo es el más común a nivel internacional. El hecho de que el Estado participe de forma activa en el desarrollo de programas nucleares resulta en sí la mayor señal de compromiso a largo plazo.
    - Se requiere igualmente de la existencia de un marco regulatorio que rija la operación de centrales nucleares.
    - Se requiere que dentro de la estructura de propiedad de la sociedad se definan las responsabilidades y compromisos del Estado frente a los intereses de los socios privados.

5.4.2 Aceptación Pública

Un potencial rechazo por parte de la opinión pública respecto del uso de la energía nuclear, consiste en una eventual barrera de entrada que debe enfrentar este tipo de proyectos. Lo

[61] Public Private Partnership (PPP) es un modelo de cooperación público privada para lograr entre instancias estatales de cooperación y las empresas privadas la persecución de objetivos de desarrollo, en este caso, de un proyecto nuclear.

anterior se debe principalmente al hecho que la opinión pública podría influir indirectamente tanto en el desarrollo de proyectos nucleares a nivel nacional, como en proyectos específicos[62], pudiendo impulsar un cambio en las condiciones establecidas para un proyecto nuclear.

Como fue descrito en el capítulo 4.1.2, no existe regulación referente a mecanismos que permitan llevar a cabo esta tarea. Las dimensiones de este problema se refieren al diseño y ejecución de un programa de carácter de nivel nacional y de largo plazo, actividad para la cual no se encuentra definido ni las responsabilidades de las partes, ni los medios que podrán ser utilizados para este fin.

Uno de los aspectos que resultan relevantes para acceder a la confianza de la opinión pública se refiere a la realización de un proceso abierto y transparente, con una participación activa de la población dentro de los procesos de licencias y fiscalización de las medidas de seguridad, frente a la operación de centrales nucleares. La transparencia de estos procesos promueve la confianza de la población frente al riesgo de accidentes nucleares.

El tema de la seguridad resulta otro tema relevante en lo que se refiere a la aceptación pública. A pesar de la maduración de las condiciones de seguridad que le son exigidas a las centrales nucleares, siempre existirá la incertidumbre respecto a que la ocurrencia de cualquier accidente nuclear a nivel global pueda provocar un cambio en la percepción de la opinión pública respecto a la energía nuclear.

Dados los antecedentes anteriores, resulta evidente que la opinión pública puede resultar en una variable crítica para la desarrollo de la energía nuclear en el país. El impacto de este riesgo puede consistir en:

- El rechazo público a nivel nacional puede producir el veto a la energía nuclear.
- El rechazo público a nivel local puede producir barreras a proyectos específicos.

A nivel internacional, la opinión pública ha cumplido un rol esencial dentro del desarrollo de los programas nucleares, lo cual se ha manifestado tanto de forma directa como de indirecta. Una de las principales formas directas de participación consiste en la realización de audiencias públicas para la discusión de los procesos de licenciamiento y especialmente en la decisión de localización de centrales nucleares (ver sección 5.4.4). Respecto a las alternativas indirectas de participación, y como ya fue explicado anteriormente, se encuentra su efecto sobre los poderes del Estado de elección popular. El compromiso del gobierno en vías de permitir el desarrollo de la industria nuclear puede cambiar debido al rechazo en la opinión pública.

La gran mayoría de los países que mantuvieron su apoyo al uso de energía nuclear a partir de la década de los 80, han tratado este tema como parte integral del plan de desarrollo, implementando políticas específicas con el fin de adecuar la opinión pública hacia la

[62] No se considera una influencia directa, debido a que la constitución sólo establece el llamado a plebiscito para efectos de reformas constitucionales.

aceptación de la energía nuclear. A nivel nacional el tema ha sido tratado a través de programas educativos y de participación ciudadana, mientras que a nivel local se han observado variadas estrategias, las que son adaptadas caso a caso.

En los distintos países, los programas de aceptación pública han sido impulsados tanto por el Estado como por organizaciones sin fines de lucro, financiadas por la industria nacional. En el ANEXO I se analizan el caso de Francia y de Canadá.

Algunas reglas básicas para el mejoramiento de la aceptación pública acerca de la energía nuclear a nivel nacional[63] son:

- Dar a conocer la necesidad de un mejor suministro eléctrico que puede ser logrado por grandes centrales generadoras de base.
- Definir una política ambiental con sanciones que reduzcan emisiones producidas por centrales térmicas.
- Mantener una operación segura de centrales nucleares, y comunicar este hecho en una manera coherente a la población.
- Proveer las oportunidades de una participación significativa en temas nucleares, incluyendo los procesos de planificación, localización y vigilancia.
- Establecer comunicaciones con el público en una manera coherente y comprensiva de los aspectos relacionados con la radiación y sus riesgos percibidos.
- La definición de una política que solucione el tratamiento de los desechos radiactivos.
- Asegurar que el desarrollo nuclear no provocará la proliferación de armas nucleares.

5.4.3 Localización del proyecto

La localización de un proyecto nuclear presenta mayores exigencias que las que son requeridas a cualquier proyecto de generación tradicional, principalmente en lo que se refiere a la necesidad de una licencia para su emplazamiento, de manera de cumplir con el principio fundamental de preservar el medioambiente libre de contaminación.

A pesar de que actualmente no existe una reglamentación que defina los procedimientos para otorgar dicha licencia, en la experiencia internacional se observa que para esta tarea es requerido el estudio de múltiples criterios técnicos para la evaluación de los riesgos asociados a la contaminación del medio ambiente y daños a la salud de la población. Lo anterior, produce que un número reducido de sitios sean considerados factibles para la localización de un proyecto nuclear, lo cual reduce la flexibilidad del impulsor del proyecto para la elección del sitio.

Otro desafío importante asociado al emplazamiento del sitio, consiste en que el inversionista puede verse enfrentado a problemas para ejercer la utilización del sitio. Esto se debe a que el Estado es quien debe determinar cuáles son estos los lugares factibles. En tal situación, el uso

[63] Nuclear Power: Technical and Institutional Options for the Future, Committee on Future Nuclear Power Development Energy Engineering Board, National Research Council (1992)

de los terrenos factibles puede significar complejidades asociadas a un eventual rechazo a la venta o a la especulación de precios, lo que se dificulta aún más en el sentido que el privado tiene a su disposición herramientas limitadas de negociación para poder adquirir o utilizar los mencionados sitios.

Considerando los antecedentes expuestos anteriormente, el eventual impacto asociado a esta barrera resulta crítico, dado el potencial fracaso del inversionista en la utilización de terrenos declarados factibles desde el punto de vista técnico.

Dada la naturaleza de los desafíos que representa el emplazamiento de los proyectos nucleares, se observa como necesaria la incorporación de medidas por parte del Estado, con el objeto de facilitar la utilización de los terrenos. Desde el punto de vista del estudio técnico de factibilidad, resulta importante conocer los procedimientos y criterios utilizados para la calificación de los sitios. Al mismo tiempo, se debe decidir si el Estado llevará a cabo una selección preliminar de estos, o realizará una evaluación caso a caso de acuerdo a las opciones propuestas por los privados.

En cualquier caso, el Estado deberá considerar medidas de apoyo con el objetivo de que dichos terrenos puedan ser utilizados por los impulsores del proyecto. En este sentido algunas medidas factibles que pueden implementarse son:

- Privilegiar la elección de terrenos fiscales: Posteriormente los terrenos sean vendidos a los interesados en desarrollar el proyecto.
- Realizar expropiación de terrenos factibles: Esta medida eliminaría el problema de oposición a la venta y de especulación de precios. No obstante no solucionaría el problema de la aceptación pública.
- Acoger a centrales nucleares al sistema de concesión: Es decir otorgar servidumbres de obras, incluyendo los terrenos necesarios para la localización de las instalaciones y eventuales zonas de seguridad. Esta solución requiere de un cambio en la regulación existente, dado que actualmente sólo se encuentran sujetos a concesión los proyectos de generación hidroeléctrica.

5.4.4 Obtención de Licencias

Antes de dar comienzo a la implementación de una planta nuclear es que cada país que presente interés en llevar a cabo un programa de este tipo para generación de energía, debe establecer un sistema de otorgamiento de licencias relativas a las instalaciones nucleares, mecanismo que regula en forma detallada las distintas etapas del proyecto, desde su concepción hasta su cierre definitivo.

La experiencia internacional describe una serie de modelos que han sido utilizados para la formación del mecanismo de entrega de licencias. Los diversos riesgos que tiene asociado el desarrollo de la energía nuclear exigen que los países desarrollen una regulación particular de manera coordinada. Uno de los principales acuerdos internacionales respecto a la regulación

nuclear, es la Convención de Seguridad Nuclear de 1994[64] (CSN), Cuyo ámbito de aplicación es la seguridad de las instalaciones nucleares, estableciendo estándares obligatorios referentes al marco regulatorio y el organismo regulador nuclear que son requeridos.

La mayoría de los países que utilizan energía nuclear incorporan un sistema de licencias como estándar para otorgar los permisos que viabilicen el desarrollo de un proyecto de este tipo. Tomando como base los principios generales que establece la CSN, los países suscritos han desarrollado distintos esquemas para el otorgamiento de licencias. A continuación se describen los principales aspectos que marcan la diferencia entre los esquemas observados internacionalmente.

- Integración o división de tipos de licencias: Se observa la existencia de licencias que otorgan tanto permisos individuales para cada etapa del proyecto, como una única licencia que integra todos los permisos. Las distintas configuraciones pueden permitir la realización de tareas en paralelo, con su consecuente agilidad para el proceso.
- Tiempo de otorgamiento: Algunos países otorgan licencias indefinidas (sujetas a procedimientos de revisiones periódicas de seguridad) y otras con plazos fijos de vigencia. Sin embargo, en aquellos países que otorgan licencias con límite de tiempo se pueden acceder a un proceso para extender su validez.
- Organismos relevantes: Se observan diferencias en el número y tipo de organismos que participan en el proceso de otorgamiento de licencias. En general, el otorgamiento de licencias es una actividad realizada por un solo organismo regulador (integrado o independiente del gobierno), sin perjuicio de contar el apoyo técnico de otras instituciones. En algunos países el proceso de otorgamiento de licencias participan otros organismos públicos, como ministerios o el parlamento.
- Participación ciudadana: En la mayoría de los países la participación pública influye en distintas etapas, y en distintos grados, dentro del proceso de otorgamiento de licencias. Al respecto, la participación ciudadana puede tener sólo un carácter referencial, o incluso tener gran poder de decisión, llegando al punto de tener la posibilidad de detener el proyecto a través de un referéndum[65].

Para enfrentar entonces los desafíos que se presentan en este tema, es que el sistema de licencias debe tener las características de ser flexible, riguroso y robusto de manera simultánea. Desde el punto de vista del inversionista, el sistema de licenciamiento debe ser flexible de manera de poder evaluar los posibles diseños de reactores y plantas que puede escoger el promotor del proyecto. Lo anterior resulta especialmente importante cuando es el privado quien define libremente el tipo de tecnología que desea implementar. Una extrema flexibilidad del sistema de licencias se presenta como un desafío complejo para el Estado,

[64] Convención sobre seguridad nuclear, Viena (1994).

[65] Por ejemplo, en Suiza la decisión de aprobación de una central nuclear puede decidirse mediante un referéndum a nivel nacional si es que más de 50.000 personas lo piden.

debido a la necesidad de formar recursos humanos y procedimientos altamente especializados en las particularidades de la diversidad de tecnologías disponibles en el mercado. Por este motivo, resulta conveniente desde el punto de vista del regulador, restringir las tecnologías factibles a ser evaluadas en el sistema de licenciamiento. Se identifica como desafío entonces, el lograr un equilibrio entre la reducción de los requerimientos de recursos humanos dedicados al sistema de licenciamiento, sin quitar al mismo tiempo la flexibilidad en la elección de la tecnología para el desarrollador.

Por otra parte, el sistema de licencia debe ser riguroso de manera de no crear ambigüedades en la forma y en los tiempos en que debe materializarse la aprobación de las licencias. Las condiciones y actividades que exige el proceso de licencias deben ser claramente definidas, de manera de no incorporar riesgos adicionales al inversionista.

Por último el sistema de licencia debe de ser robusto, referido a que la concepción de las exigencias debe ser en lo posible inalterables en el tiempo, pues modificaciones de los requerimientos de seguridad en etapas avanzadas del proyecto podrían generar problemas en el desarrollo del mismo, llegando al extremo de inviabilizar la inversión. Esta situación es relevante considerando que las licencias usualmente deben ser renovadas periódicamente o en su defecto están sujetas a revisiones periódicas de seguridad. A modo de ejemplo, en Canadá las licencias deben ser renovadas cada 2 o hasta 5 años, y en cada renovación se incluye nuevamente la participación pública. En Estados Unidos las licencias son válidas por 40 años, y pueden ser renovadas por 10 o 20 años más. En otros países, los reguladores realizan inspecciones exhaustivas usualmente cada 10 años.

Respecto a la estructuración del sistema de licencias, las alternativas de presentación integrada o separada presentan ventajas y desventajas. En una licencia integrada, donde las actividades de diseño, emplazamiento, construcción, operación y cierre de la planta provenga de un solo proceso legal, las etapas están fuertemente relacionadas y se presentan de forma secuencial, lo que implica que a partir del diseño que sea escogido para el proyecto, elección basada en la tecnología, tratados internacionales y contratos de suministro de combustible, se definen las demás características que serán requeridas al proyecto.

El mecanismo de otorgamiento integrado de licencias establece objetivos que el concesionario debe cumplir, entre otras cosas, mediante la aplicación de las normas de seguridad y procedimientos de seguridad para un diseño y emplazamiento en particular.

El hecho de sortear una a una las distintas etapas que involucran el proceso de licencia permiten disminuir la incertidumbre del inversionista, dado que resulta poco probable que una de las actividades ya aprobadas sea puesta en duda en una etapa avanzada de la evaluación del permiso, dados los anteriores antecedentes.

Por otro lado, la principal desventaja de este tipo de licencias es que, al ser dependiente una etapa de la otra, resulta complejo y poco práctico el llevar a cabo la evaluación de los distintos permisos de forma paralela, restándole de esta forma agilidad al proceso. Adicionalmente, un sistema de licencias de este tipo obliga a los desarrolladores de los proyectos a tener que definir todos los aspectos relacionados al proyecto en una etapa temprana, con altos costos en caso de posibles modificaciones. En otro aspecto, al ser los

requerimientos de las licencias para proyectos particulares, generalmente no permiten ser transferibles y son únicas para ese proyecto, lo que resta flexibilidad al proceso.

Respecto a las licencias separadas, la principal ventaja de un sistema de licencias que considere procesos legales separados para las distintas etapas de un proyecto nuclear, es la flexibilidad que otorga al proceso. Lo anterior dado que este tipo de licencias permite dejar en etapas posteriores decisiones estratégicas del proyecto, avanzando paralelamente en la toma de otras decisiones. Adicionalmente, la posibilidad de aprobar licencias de manera genérica, sin la dependencia exclusiva al éxito de otros permisos permite dar una mayor agilizad al proceso. Todo lo anterior implica la reducción de la incertidumbre del inversionista que lleva a cabo un proyecto nuclear, al disminuir los tiempos asociados al proceso de obtención de los permisos.

Por otro lado, las principales desventajas de un proceso de licencias separadas se refieren a que cada una de las actividades es estudiada de forma independiente, por lo que muchas veces quedan sujetas a los llamados “holds points”. Lo anterior implica que en caso de no dar cumplimiento con aquellos hitos claves, permisos ya aprobados podrían ser revocados, aumentando de esta forma la incertidumbre del inversionista y por ende el acceso al financiamiento para llevar a cabo el proyecto.

Otro desafío importante que se presenta en el proceso otorgamiento de licencias guarda relación con el ente organizacional que se encuentra detrás de la decisión de aprobar o rechazar la solicitud. Una estructura clara de responsabilidades y de jerarquías de los distintos participantes en el proceso de decisión resulta clave para evitar mecanismos complejos que puedan generar situaciones de retraso en el desarrollo de proyectos. En este sentido, la experiencia internacional identifica dos extremos:

- El regulador está integrado dentro de un organismo del gobierno: como en el caso de Alemania, Japón y Suiza;
- El regulador como un organismo independiente: tal como ocurre en Canadá, Francia y Estados Unidos.

En general, en los países en que el organismo regulador se encuentra integrado dentro de la estructura de gobierno, es este último quien tiene el poder final de decisión. Países en cambio que presenten reguladores independientes, poseen también facultades independientes en el otorgamiento de licencias.

Sin importar el nivel de independencia del regulador, los países han implementado un sistema de control que es ejercido por otras autoridades y organismos. En este sentido, se destaca el ejemplo de Japón, el cual tiene un sistema único de doble revisión frente a cada decisión administrativa hecha por el regulador[66]. Similarmente, en Estados Unidos la NRC ha establecido un comité asesor interno como un agente independiente a cargo de realizar una doble revisión de cada decisión que es tomada para el otorgamiento de licencias, a través

[66] Fuente: A comparison of international regulatory organizations and licensing procedures for new nuclear power plants, Bredimas y Nuttall (2007).

de un comité asesor conformado por expertos de diversas disciplinas. En otros países se han implementado sistemas informales de doble revisión. Usualmente es tarea del parlamento el de formar comités especializados que controlen las operaciones de los reguladores.[67]

Otro aspecto importante dentro del sistema de licencias es rol de la ciudadanía en las distintas etapas del licenciamiento. La creación de procesos consultivos a nivel nacional, dado la sensibilidad de este tipo de temas, resulta ser un tema relevante. Sin embargo es importante definir con anterioridad y de forma clara la injerencia de la comunidad en cada una de las etapas en el proceso de decisiones del sistema de licenciamiento.

En la experiencia internacional se observa diversos niveles de influencia de la participación pública dentro del sistema de licencia[68]. En forma general la opinión pública es considerada dentro de audiencias públicas, en las cuales se dan a conocer las características del proyecto y posteriormente la comunidad puede realizar las observaciones correspondientes.

Chile, al no contar con experiencia previa en el licenciamiento de centrales nucleares de potencia, podría enfrentar un proceso de licenciamiento para la primera central que resulte más largo y complejo de lo necesario. Además existe el riesgo de que los procesos del sistema no se encuentran bien definidos en el momento de ser requerida su ejecución[69]; hecho que se potencia en el caso de no existir un amplio consenso político y social sobre la necesidad de la energía nuclear.

El principal desafío que se presenta en esta etapa se refiere al hecho que las rigurosas exigencias al desarrollo del proyecto puedan generar retrasos en la puesta en operación de la planta o, en un caso extremo, la paralización de las actividades de la central en cualquiera de sus etapas de desarrollo.

Los mercados financieros son especialmente sensibles a proyectos de este tipo: intensivos en capital y con alto riesgo. Por lo mismo, los promotores del proyecto se ven expuestos a mayores dificultades para llevar a cabo la planta, principalmente en lo referido a acceso al financiamiento y a tasas de interés atractivas, pudiendo requerir de algún tipo de garantías financieras o subsidios, como las que actualmente se ofrecen en Estados Unidos o en algunas obras públicas realizadas en Chile al amparo de la Ley de Concesiones.

En vista de lo anterior, mecanismos bien definidos y oportunos de otorgamiento de licencias resultan esenciales para reducir la incertidumbre y fomentar el desarrollo de nuevas plantas

[67] Por ejemplo en Francia la Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques controla el uso de la energía nuclear informalmente realizando reportes anuales.

[68] En países como Francia, Alemania y Estados Unidos se deben realizar al menos una audiencia pública, en el caso de Japón se realizan dos audiencias para cada licencia para el uso del sitio. Canadá y Suiza destacan por permitir un importante involucramiento de la población. En el caso de Suiza, la participación pública sea realiza a gran escala durante la licencia del uso del sitio, incluso todo el país puede decidir a través de un referéndum. Canadá, por su parte, realiza audiencias públicas para cada proceso de renovación de licencias, es decir cada 3 o 5 años. Adicionalmente, financia la asistencia y participación durante la evaluación del impacto ambiental.

[69] http://www.grist.org/article/costs-soar-for-new-nuclear-power-plants/

http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aFh1ySJ.lYQc

nucleares. Adicionalmente este proceso debe ser tratado de forma abierta y transparente, de manera de proporcionar confianza a la ciudadanía, y fomentar de esta forma la aceptación pública hacia el proyecto.

Los períodos de vigencia de las licencias también pueden generar impactos a nivel de retrasos en el desarrollo del proyecto. Lo anterior dado que el posible requerimiento de renovación periódica de los permisos puede incorporar importantes riesgos para el proyecto, pudiendo generar conflictos en cualquier etapa del desarrollo, dadas las exigencias de seguridad que son exigidas en cada uno de estos procedimientos. Este hecho que se ve potenciado en el caso en que el mecanismo de licencias evolucione e incorpore nuevas y más rigurosas exigencias. En el ANEXO III se detallan las experiencias de los Estados Unidos y Canadá respecto al sistema de licencias.

5.5 Barreras que crean incertidumbre en los costos financieros.

5.5.1 Retrasos durante la construcción

Las centrales nucleares tienen como una de sus características principales el uso intensivo de capital, por lo que retrasos en la construcción de las plantas implican importantes costos dados principalmente por el pago de los intereses asociados a la deuda. Lo anterior, puede perjudicar la situación económica del mismo, llevando incluso en un caso extremo, a una situación de insolvencia económica.

Se presenta como desafío para una central nuclear, considerando que los períodos de construcción de una planta pueden verse modificados, ya sea por la inexperiencia de un país en esta tarea, por problemas con los proveedores del reactor; el mitigar los riesgos asociados a dificultades técnicas propias de complejas obras de ingeniería como ésta, o por marcos regulatorios incompletos que introducen trabas al desarrollo de la planta.

Adicionalmente, la construcción de la planta se encuentra sujeta a la entrega de una licencia (ver sección 5.4.4), por lo que se enfrenta a variables externas a la obra civil propiamente tal[70].

Otro punto importante se refiere a que, dado la paralización del desarrollo nuclear a partir de los años 80s, es que la industria nuclear no se ha sido desarrollada. En caso de que la demanda por plantas de este tipo se vea incrementada, se presenta un desafío originado no sólo por la tecnología demandada, sino también por mano de obra especializada en la construcción. Actualmente la demanda mundial también está reduciendo la capacidad limitada de EPC (Engineering, Procurement and Construction) y las empresas fabricantes de equipos. El número limitado de los fabricantes y proveedores pueden causar cuellos de botella en la construcción si es que existen múltiples pedidos de nuevas centrales eléctricas

[70] Los aspectos más delicados para la construcción de una central se refieren principalmente al reactor propiamente tal y la construcción de la bóveda de hormigón requerida para alojar el reactor. Fuente: The Financial Crisis and Nuclear Power, PSIURU, Business School, University Greenwich. (2009)

en los EE.UU. y el extranjero[71]. Dado lo anterior se plantea la pregunta que no resulta fácil de responder ¿Estará Chile llegando tarde para la concepción de un proyecto nuclear en el mediano y largo plazo? ¿Será atractivo para el proveedor de tecnología en un escenario de renacimiento nuclear desarrollar una o dos plantas en Chile, cuando en China o India existe un requerimiento de 20 o 30 unidades?

Los impactos relacionados a la construcción de la planta vuelven a hacer referencia a posibles retrasos que pudieran influir en los costos de inversión que enfrenta el promotor del proyecto. Lo anterior se ve reflejado en costos de inversión que superan lo presupuestado, mayores tiempos de construcción dado posibles imprevistos con la construcción propiamente tal, o a problema en el acceso de la tecnología dado lo explicado anteriormente.

El retraso en la puesta en marcha también puede impactar en lo referido a la operación comercial de la planta. Lo anterior pues el hecho de que la central no comience su inyección de energía en los plazos estipulados, implicaría tener que recurrir al mercado spot, con los sobrecostos correspondientes, para dar cumplimiento a sus contratos de suministro. Si bien esta característica resulta común a todas las unidades de generación, en el caso nuclear resulta de suma importancia, por el hecho que sus largos períodos de planificación y construcción obligan a que gran cantidad de su capacidad sea contratada desde el origen del proyecto, de manera de minimizar el riesgo. Dado que, y tal como veremos más adelante, los costos de una central nuclear resultan bajos y estables en comparación a otras tecnologías, es que el dueño de la planta deberá comprar energía a alto costo en el spot, para entregarla a sus clientes a un costo menor, respetando los contratos, con las pérdidas económicas que esto significa para la empresa.

En la experiencia internacional no se presenta una solución definitiva para el tema, por lo demás la solución no presentaría características regulatorias, siendo generalmente resuelta entre privados.

No obstante lo anterior, el sistema de licenciamiento podría imponer requerimientos sobre el contratista del contrato EPC, como por ejemplo experiencia comprobada o algún tipo de certificación. Al respecto, una de las soluciones que se proponen en la experiencia internacional es la definición de contratos EPC con coberturas, incentivos y distribución de responsabilidades, definiendo un pago fijo al contratista por trabajo realizado, multas al en caso de retraso e incluso premios por término anticipado de obras o dentro de plazos y presupuesto.

Respecto al contrato a precio fijo, también llamada garantía de contratos de “llave en mano”, se refiere a compromisos en que el proveedor se hace responsable de retrasos y sobrecostos, alternativa que aparece como la mejor solución para mitigar los riesgos en esta etapa. Tal es el caso de la construcción de la central de Olkiluoto, donde es Areva NP la encargada de asumir todos los riesgos financieros de la construcción que un contrato “llave en mano” implica. Contratos llave en mano para las plantas nucleares presentan un mayor riesgo en comparación con otro tipo de plantas, debido a que gran parte del trabajo en la construcción

[71] Nuclear Power Plant Construction Costs, Synapse Energy Economics (2008)

nuclear se centra en la ingeniería de sitio y la construcción misma, procesos que muchas veces resultan difícil de controlar.
El resultado en Finlandia no ha sido del todo optimista, dado que el presupuesto se ha superado en una cifra cercana al 50%, con un retraso importante respecto del cronograma original del proyecto. Las falencias en la puesta en práctica de los contratos, en este caso, se producen por una mala definición de responsabilidades, hecho que ha generado a una serie de conflictos legales entre las partes. Lo anterior resulta claramente una mala señal para proveedores de la tecnología y empresas contratistas a la hora de suscribir contratos de este tipo. Caso distinto es el presentado en Corea del Sur, quien tuvo una mala experiencia con contratos EPC para la construcción de sus primeros reactores nucleares no comerciales. Desde esa experiencia realizó una buena gestión de contratos EPC para el desarrollo de sus siguientes proyectos.

5.5.2 Estudio de Impacto Ambiental

Para la realización de proyectos de centrales generadoras se requiere de la ejecución y aprobación del estudio de impacto ambiental, tema mencionado en el punto 4.1.4.

Al respecto, la interacción que presenta los estudios de impacto ambiental con el sistema de licencias se presenta como una posible barrera para el inversionista, principalmente si estos se dan de forma independiente.

La idea es que la información presentada para llevar a cabo ambos estudios sea realizada a través de un proceso único, con una sola instancia de decisión de proyectos, que considere la visión regional además de una uniformidad de normativa ambiental, a fin de evitar superposición en normas, permisos y competencias, además de sobrecostos en el proceso, dada la existencia de tareas redundantes.

El sistema de impacto ambiental actual posee requerimientos comunes para todos los proyectos de generación, sin reconocer las particularidades de una central nuclear, por lo que se deberá analizar si el proceso de licencias considera un estudio de impacto ambiental o si presenta tareas que deben o pueden ser realizadas en paralelo.

La complejidad de este tema no sólo se da por el hecho de los requerimientos técnicos que implica una central nuclear, sino en general se presenta como factor común para los megaproyectos de generación que guardan relación con el desarrollo sustentable del sistema eléctrico. En ese sentido, se plantea la necesidad de desarrollar un Sistema de Impacto Ambiental que incorpore las consideraciones ambientales del desarrollo sustentable al proceso de formulación e implementación de las políticas y planes de carácter normativo general, a nivel país, que tengan impactos sobre el medio ambiente o la sustentabilidad, de manera que ellas sean integradas en la dictación de la respectiva política y plan.

Como soluciones factibles se presenta el caso de Canadá. En dicho país, las evaluaciones ambientales se llevan a cabo para dar cumplimiento a los requerimientos de la regulación ambiental, determinando si un proyecto específico causa efectos significativos en el medio ambiente, y las medidas que deben ser desarrolladas para que estos efectos sean mitigados. En este caso, el estudio de impacto ambiental se concibe como requisito inicial para el

proceso de licencias, y abarca el estudio de efectos ambientales y de mitigación en las 5 fases del ciclo de vida de una planta, a través de un estudio exhaustivo. En este caso, tanto la evaluación ambiental como la concesión de licencias tienen procesos que ocurren de forma simultánea. Tomando en consideración que existe información que es común a ambos procesos, es que se establecen revisiones conjuntas de manera de operar de forma complementaria, minimizando la redundancia de procedimientos, agilizando el proceso, sin originar sobrecostos para el desarrollador del proyecto.

Otra de las alternativas que resultan factibles de acuerdo a la experiencia internacional es el incorporar el Estudio de Impacto Ambiental en el proceso de licenciamiento propiamente tal, con lo que se evitan de igual forma los problemas anteriormente mencionados.

5.5.3 Logro del financiamiento del proyecto

Para que el financiamiento sea exitoso, es necesario que el proyecto presente una estructura con una gran rigurosidad en la asignación eficiente y adecuada de los costos, además de una correcta gestión de los riesgos. Sin esto, no es posible alcanzar el éxito, independiente de las disposiciones que se hagan con respecto a la deuda y el capital.

La experiencia internacional indica que en condiciones donde la creación de plantas de energía nuclear se presenta como un proyecto pionero en el área de la energía, el lograr un aumento en capital para llevar adelante estos proyectos resulta poco atractivo para los inversionistas, debido a los altos riesgos involucrados en los procesos.

El atractivo de la deuda para los acreedores tiene relación con la solvencia del proyecto y el precio de esta, que considera tanto el costo total comprometido y los intereses subyacentes. En caso que instituciones solventes como gobiernos u otros ofrezcan garantías sobre la deuda, los riesgos de no pago, y por ende, el costo de la deuda, se reducen considerablemente.

Para los proyectos de tamaño considerable, se requiere de una combinación de capital y deuda, debido a que es prácticamente imposible obtener un 100% de capital o de financiamiento interno. En el caso de los proyectos nucleares, la relación entre la deuda y capital depende generalmente del modelo de negocio escogido para el desarrollo del proyecto y la situación financiera que presenta el desarrollador del proyecto, de la etapa en que se encuentre el desarrollo del proyecto, de las condiciones de la zona donde se emplazará la planta; y de la viabilidad, estructura y evolución del sector eléctrico en que la planta va a operar.

Dado que el atractivo de la deuda tiene relación con la solvencia del proyecto, es que durante el desarrollo de éste podría ser conveniente ir adaptando la estructura de financiamiento. De acuerdo al estudio de la EnergyPath Corporation (2005)[72], para un primer tramo de planificación inicial y licencias sería conveniente un financiamiento del 100% basado en el capital, sin deuda. En un segundo tramo, que consiste en la adquisición y preparación del

[72] NP2010 Texas Gulf Coast Nuclear Feasibility Study Final Report, EnergyPath Corporation (2005). Dólar de 2002.

sitio, carga inicial del combustible, pago de intereses y requisito inicial de capital de trabajo resulta preferente una estructura deuda/capital de 50/50. Finalmente en el tercer tramo que define los pagos finales a la construcción y al proveedor de tecnología, más el pago por el desmantelamiento, todas actividades posteriores a la operación, podría resultar conveniente una razón deuda/capital de 75/25.

Cabe recordar que la gran mayoría de las plantas que actualmente se encuentran en operación han sido desarrolladas en mercados regulados, en donde el promotor del desarrollo es el Estado. Una de las posibles ventajas económicas de un modelo de propiedad estatal de desarrollo nuclear, es un acceso más fácil a fuentes de financiamiento, con la posibilidad de acceder a tasas de interés de más bajas que las que podrían lograr una empresa o consorcio privado.

La facilidad de acceso al financiamiento que presentarían empresas estatales, o la existencia de garantías explícitas o implícitas del Estado, daría mayor grado de certeza al inversionista. Cabe señalar, sin embargo, la participación de una empresa estatal tampoco asegura que los proyectos se concreten, como lo atestigua el caso la central de Atucha 2 en Argentina, la cual lleva veintiún años en proceso de construcción, motivado ya sea por falta de fondos estatales o por cambios en las prioridades del los sucesivos gobiernos.

En caso que el financiamiento constituya un obstáculo en sí mismo, para el desarrollo de un modelo privado, se puede estructurar un esquema en que el Estado tome una posición minoritaria en el capital de la empresa que desarrolla el proyecto, aprovechando la condición de privilegio que podría otorgar a la sociedad el organismo estatal.

Si bien muchas de las consideraciones de financiamiento de una planta son similares, independiente si el proyecto está a cargo del Estado o de privados, los riesgos que se asumen en cada uno de los escenarios son diferentes. No obstante lo anterior el impacto del acceso al financiamiento en la decisión del inversionista es la misma en ambos casos. Lo anterior se refiere a posibles sobrecostos financieros para el proyecto nuclear dada su extensiva necesidad de capital, los riegos inherentes a la tecnología y los largos periodos de recuperación de capital, motivos por los cuales podría incluso, ante un caso límite, no lograr el acceso al financiamiento.

Por otro lado, el desarrollo de un proyecto nuclear produciría para la empresa promotora del proyecto una baja en la clasificación de riesgo, dado el alto nivel de deuda adquirido y el riesgo inherente a un proyecto de este tipo. El empeoramiento de la clasificación de riesgo de la empresa genera dificultad o encarecimiento del financiamiento para futuros proyectos. Esta situación podría definir de igual forma que el caso anterior, que el desarrollador no logre el acceso al financiamiento, dado por el no cumplimiento de las exigencias de los financistas[73].

[73] Inversionistas podrían exigir una mayor tasa de retorno debido al riesgo percibido para la recuperación de capital en el largo plazo, especialmente para los primeros proyectos que se desarrollen en el país.

El tema del financiamiento resulta finalmente en un ejercicio de gestión de riesgos, en el cual el sector privado toma un rol relevante, debiendo definir estructuras innovadoras para lograr el financiamiento del proyecto con el apoyo necesario del Estado. La solución en general se da a través de una combinatoria regulatoria y privada, existiendo diversas opciones para hacer frente a esta barrera. Dichas alternativas se pueden apreciar en el ANEXO IV

5.5.4 Acceso a contratos en la etapa de financiamiento

Como se mencionó en la sección 3.4.2, los proyectos de generación deben recurrir a contratos de suministro como estrategia de cobertura ante la variabilidad en los precios del mercado spot, de manera de reducir los riesgos percibidos del proyecto y por lo tanto se reducir la tasa de retorno exigida al proyecto. No obstante, en el caso de un proyecto nuclear, debido a sus mayores plazos de desarrollo, se vuelve complejo acceder a contratos de suministro durante esta etapa. Tal situación crea una barrera de entrada, aumentando el costo de inversión del proyecto, y generando sobrecostos financieros, dados por una mayor percepción de riesgo ante los flujos de caja inciertos que presenta un proyecto nuclear.

Adicionalmente, el hecho de que las centrales nucleares convencionales sean de gran tamaño implica la necesidad de un mayor nivel de contratación para dar cumplimiento a la disminución del riesgo de un proyecto de este tipo, sujeto a la estrategia de cobertura de riesgo que defina el promotor.

Otro desafío que se presenta al respecto, es el lograr la coincidencia del inicio de los contratos de suministro de los clientes que comprometen la capacidad de la planta, con la puesta en operación de la misma. De no ser así, en el caso que los contratos se hiciesen efectivos de forma parcial, en la medida que los respectivos compromisos anteriores caduquen, se deberá establecer políticas de cobertura para aquellos períodos de tiempo en los que se produzca un descalce entre la energía generada por la planta y la que efectivamente ha sido contratada para dar viabilidad al proyecto.

La experiencia internacional indica, como alternativas para lograr la superación de esta barrera, en primer lugar, que sean los grandes clientes los impulsores del proyecto, consiguiendo, de esta forma, un acceso directo a contratos de suministro a costo y a largo plazo[74].

Otra complejidad que presenta las centrales nucleares es el hecho de que deben cubrir vía contratos la gran capacidad que las caracterizan. De esta forma, centrales nucleares modulares, de menor tamaño, podrían reducir el riesgo inherente al acceso a contratos.

[74] Tal es el caso de lo que ocurre en Finlandia, en el cual son las grandes empresas forestales las que, en conjunto con el Estado y otras empresas internacionales, promueven el desarrollo de las centrales nucleares que actualmente se encuentra en construcción.

Tomando en cuenta que el cargo por energía resulta ser uno de los componentes más importantes para esta industria, es que han visto un cierto atractivo en la participación de la propiedad de la central nuclear, recibiendo en retribución contratos de largo plazo que permiten recibir energía a costo de producción.

Alternativamente, una posible solución para esta barrera incluye la posibilidad de instaurar mecanismos de incentivos regulatorios similares a los que actualmente entrega Chile con respecto a las tecnologías ERNC. Dicho incentivo exige a todos los generadores que un porcentaje mínimo de sus ventas de energía provengan de tecnologías ERNC, lo que podría ser perfectamente aplicable en el caso de la energía nuclear.

Finalmente se propone la instauración de un nuevo modelo de negocios, en el que la inyección de la central nuclear sea remunerada de acuerdo a su costo variable, y que adicionalmente todas las centrales acudan al pago de un cargo que cubra la inversión de la planta, de manera de reconocer todos sus costos y viabilizar su ingreso al sistema.

5.6 Barreras que crean incertidumbre en los costos operacionales.

5.6.1 Reconocimiento de costos no tradicionales para una central nuclear

Las centrales nucleares tienen asociados costos no tradicionales, consistentes en el tratamiento de desechos, clausura y desmantelamiento de la central y seguros de responsabilidad civil. Algunos de estos costos pueden ser considerados como costos variables, dependientes de la generación de la central, otros corresponden a costos fijos, independiente de dicha generación. Según como se consideren, como costos fijos o variables, pueden afectar la operación comercial del proyecto y constituirse en una eventual barrera, según se anticipara en la sección 4.3.1.

Al respecto, las centrales nucleares serán competitivas y despachadas en base, sólo si sus costos, incluyendo costos no tradicionales que correspondan, resultan menores que los de otras tecnologías tradicionales de operación, ya sea estos se incorporen como costos variables o como inversión. En este sentido es importante destacar que esta barrera es propia de la tecnología, más no del mercado propiamente tal.

Por otra parte, una proporción de estos costos no tradicionales corresponden a inversiones que deben ser cubiertas por las empresas. Estas inversiones, deben ser remuneradas de la misma forma que cualquier otra central a través de la comercialización de su capacidad, ya sea bajo contratos o vendiendo sus excedentes dentro del balance de transferencias de potencia.

5.6.2 Costos de manejo de desechos nucleares

El costo del manejo de desechos producidos por las centrales nucleares, según la regulación nacional, debe ser cubierto por los desarrolladores del proyecto. Además, la responsabilidad de su mantenimiento y seguridad depende de la clasificación de la duración de la vida media de los desechos.

La regulación nuclear vigente produce incertidumbre respecto al costo asociado al tratamiento de los desechos radiactivos, dado que no se encuentran definidos ni los métodos de almacenamiento ni cómo serán recaudados los fondos necesarios para cubrir los costos de inversión y operación.

De manera de reducir la incertidumbre asociada a los costos del tratamiento de los desechos nucleares, deben ser definidos los siguientes aspectos claves:

- Se debe definir donde se ubicará el repositorio definitivo de los desechos de larga vida, principalmente decidir si se encontrará dentro del territorio nacional o en el exterior[75]. Cabe destacar que la regulación nacional no permite que se almacenen dentro del país desechos nucleares producidos fuera del territorio nacional. Sin embargo, no existe la prohibición de enviar los desechos a otros países.
- En el caso de elegir el almacenamiento de desechos nucleares de larga vida fuera del territorio nacional, se debe estimar el costo que implica esta acción, permitiendo al desarrollador del proyecto realizar contratos a largo plazo con los dueños del repositorio. Esta opción plantea la necesidad de crear acuerdos bilaterales con países que ofrezcan la posibilidad de recibir desechos nucleares, con la consecuente necesidad de implementar una regulación de transporte de los desechos.
- En el caso de optar por un almacenamiento de desechos nucleares de larga vida dentro de territorio nacional, se debe definir de forma clara el método para la construcción del repositorio. Esto definirá los costos de inversión que deberán ser cubiertos.
- Se debe definir cómo serán recaudados los fondos para cubrir los costos para el manejo de los desechos. En este sentido, se debe decidir si los costos serán recaudados antes, durante o después de realizar la inversión para la construcción del repositorio. Además debe ser definido si son considerados como costos de inversión o como una componente del costo variable.
- Para desechos nucleares que no sean de larga vida, el marco regulatorio establece que el desarrollador del proyecto es quien debe tener a su cargo los desechos. Por este motivo el inversionista intentará minimizar los costos de inversión y operación, sujeto a las normas de seguridad que sean impuestas en el marco regulatorio. De esta forma, deberán establecerse claramente los requerimientos mínimos que deben ser cumplidos para llevar a cabo el manejo de los desechos.
- Se debe decidir quien hará efectivo el manejo de los desechos. Frente a esto, la experiencia internacional indica que la tarea puede ser realizada tanto por una empresa estatal (ENRESA en España) o por empresas privadas internacionales especializadas.
- Finalmente, se deben definir las condiciones para la construcción y operación de instalaciones de reprocesamiento de combustible nuclear irradiado, analizándolo como alternativa posible a ser evaluada.

A pesar de todas las medidas expuestas anteriormente, se presentan dificultades que no pueden ser mitigadas totalmente, dada la incertidumbre propia del mercado. En general la

[75] En el caso que existiera un repositorio internacional operativo factible para ser usado por Chile.

inversión del repositorio para el almacenamiento de los desechos radiactivos de larga vida es realizada después de décadas de la entrada del primer proyecto nuclear. Lo anterior, debido principalmente a que no es necesario para el inicio de la operación de la planta que la solución se encuentre implementada. De este modo, la estimación de los costos de la solución resulta compleja para los desarrolladores de los primeros proyectos que sean llevados en el país.

Adicionalmente, al momento de realizar el cobro de los fondos no se conocerán de forma concreta el número de proyectos que se desarrollaran en el país, hecho que provoca una complejidad para realizar la prorrata de los costos que deben ser recaudados. En este sentido, puede ocurrir que proyectos nucleares ingresen una vez que ya haya sido cubierta la inversión por parte de los primeros entrantes. Esta situación produce una barrera de entrada para los primeros entrantes.

Por otro lado, el hecho de que los desarrolladores de un proyecto nuclear deban cubrir los costos de sus desechos crea desventajas competitivas respecto al resto de tecnologías de generación térmica. En este sentido, el costo del manejo de las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por las centrales térmicas actualmente no sería cubierto por sus responsables.

El manejo de los desechos nucleares es uno de los puntos de mayor debate a nivel mundial, y aún es un aspecto no resuelto a cabalidad por los países que hacen uso de esta fuente de energía. Sin embargo, la mayoría de los países conciben a los repositorios subterráneos en formaciones geológicas como la solución más apropiada para el almacenamiento de desechos de medio y alto nivel de radioactividad. En este sentido, existen países que han avanzado en la investigación y selección de los sitios factibles.

Respecto al financiamiento del tratamiento de los desechos nucleares, todos los países requieren que sean los desarrolladores del proyecto los encargados de cubrir los costos respectivos, los que generalmente son recolectados a través de la formación de un fondo.

Respecto a los métodos configurados a nivel internacional para la recolección de estos recursos, se destacan la implementación de esquemas de impuestos, cargos directos o provisiones (fondos separados dentro de la contabilidad de las empresas). La alternativa de impuestos o provisiones, permiten reflejar estos costos de como un monto por unidad de energía generada, los que pueden ser aplicados ya sea para toda la energía generada por el sistema, como ocurre en el caso de español, o sólo a la energía proveniente exclusivamente de la tecnología núcleo-eléctrica, tal como sucede en Finlandia.

Por otro lado, en algunos países se requiere que sean los propios desarrolladores del proyecto los que registren estos costos dentro de su contabilidad (p.e. Alemania, Bélgica y Francia), mientras que otros países externalizan la administración de los fondos (p.e. España, Suecia y Finlandia). Al respecto, algunos países permiten que los fondos sean administrados directamente por las empresas, como es el caso de Francia. Por otro lado otros gobiernos asumen directamente el control de los fondos como sucede en España. En otro extremo, países como Finlandia establecen que los fondos sean administrados por terceros, pero las empresas pueden acceder a dichos fondos (p.e. para fuentes de créditos).

En la mayoría de los países, una agencia externa especializada (estatal o privada) en la responsable para la construcción y operación de los repositorios subterráneos. En este sentido, la responsabilidad del manejo de los desechos nucleares es traspasada sólo en el instante que los desechos se encuentren dentro de las instalaciones de almacenamiento.

Por otro lado, el reprocesamiento del combustible nuclear irradiado ha sido un punto de discordia entre países que prohíben la aplicación de esta opción dado su riesgo de proliferación de armas nucleares. Actualmente los únicos países que tienen la capacidad para el reprocesamiento de combustibles nucleares son el Reino Unido, Francia, Japón, Rusia e India, los cuales lo justifican dado el beneficio de recuperar material fisionable y a la vez reducir la producción de desechos radiactivos.

En el ANEXO V se exponen con más detalle algunos ejemplos de experiencias a nivel internacional.

5.6.3 Costos de desmantelamiento

Bajo el marco regulatorio nacional, los desarrolladores de un proyecto de generación deben describir detalladamente el proceso de cierre de sus instalaciones para obtener la aprobación del impacto ambiental. El cambio posterior de la definición de estos procedimientos implicaría la aplicación de una multa o de revocación de la aprobación ambiental. Paralelamente, la Ley 18.302 (LSN) establece que el desarrollador de un proyecto nuclear debe cumplir con resguardos y garantías para el cierre definitivo de sus instalaciones. No obstante, actualmente no existe una definición de tales resguardos y garantías, generándose un cierto grado de incertidumbre para poder estimar los costos de desmantelamiento de centrales nucleares de potencia.

Desde el punto de vista del inversionista, la incertidumbre respecto al costo de desmantelamiento y en la forma que se deberá cubrirlos produce que el proyecto sea más riesgoso. Por este motivo, es necesario definir cuáles serán los métodos a utilizar en el desmantelamiento de las instalaciones. Las opciones para realizar el desmantelamiento dependen del momento en que será realizado y en el uso posterior que se le dará al terreno ocupado.

Al mismo tiempo, se deben definir los requerimientos técnicos relacionados con las normas de seguridad impuestas por el regulador, además de eventuales medidas de resguardo que obliguen al desarrollador del proyecto a pagar la inversión de forma anticipada.

Estos requerimientos presentan diversos desafíos que deben ser resueltos dentro del marco regulatorio. Por ejemplo, se debe decidir si el método de desmantelamiento será determinado en forma general o caso a caso. Por otro lado, en la medida que se requiera que la inversión sea pagada de forma anticipada, la estimación de los costos del desmantelamiento presenta alta incertidumbre debido a esta será realizada al final de la vida útil de las instalaciones o incluso posteriormente, en el caso de postergar el desmantelamiento. Además, el marco regulatorio debe determinar el método para recaudar el financiamiento del cierre de las instalaciones. Esta tarea debe ser definida en base al nivel de seguridad que se requiera para asegurar el bienestar de la población y de manera que no afecte la competitividad de los

proyectos nucleares. Respecto a los desafíos anteriormente descritos, a continuación se describen las soluciones observadas en la experiencia internacional.

Respecto a los métodos existentes para el desmantelamiento de centrales nucleares de potencia, existen distintos tipos de opciones para llevar a cabo el cierre de una planta nuclear[76], los cuales se describen a continuación. Cabe destacar que si bien estos métodos son aplicables a cualquier tipo de reactor nuclear, los costos asociados varían caso a caso.

- Desmantelamiento temprano: Ocurre dentro de los primeros meses o años del término de la operación comercial de la central. Se extraen del sitio toda la infraestructura y se procede a su descontaminación. El sitio queda disponible para su utilización posterior. Algunos países que han tomado esta estrategia son Italia, Alemania y Francia desde la década de 1990.
- Postergación del desmantelamiento: El desmantelamiento es atrasado por un periodo comprendido entre 5 a 60 años, quedando la instalación intacta y en un estado de protección. El objetivo de esta estrategia es reducir la radioactividad de los materiales antes de su desmantelamiento. Esta alternativa ha sido adoptada por Suecia y el Reino Unido.
- Encerramiento: El aérea que contiene materiales radiactivos queda aislada utilizando una estructura de hormigón. La vida útil de ésta debe ser al menos el tiempo necesario para que los materiales almacenados no representen un riesgo medioambiental.

La Tabla 8 muestra un resumen de metodologías utilizadas por diversos países. Cabe destacar que los métodos permitidos en cada uno de ellos quedan establecidos dentro de las licencias respectivas, lo cual es propuesto por el postulante de la licencia, y es el regulador quien aprueba o modifica el método definitivo de desmantelamiento. En general, esto es evaluado caso a caso en base a los requerimientos establecidos por cada instalación nuclear y el futuro uso destinado a los terrenos ocupados.

[76] Comparison among different decommissioning funds methodologies for nuclear installations, Wuppertal Institute (2007)

Tabla 8: Estrategias escogidas para el cierre de instalaciones nucleares (elaboración propia, fuente: Comparison among different decommissioning funds methologies for nuclear installations, Wuppertal Institute (2007)).

Desmantelamiento temprano	Postergación del desmantelamiento		Encerramiento
País	País	postergación [años]	País
Estados Unidos	Estados Unidos	20	Estados Unidos
Bulgaria[1]	Japón	5-10	
Dinamarca[1]	República Checa	35-50	
Finlandia (Loviisa)	Finlandia (Olikuoto)	30	
Francia[2]	Hungría	70	
Holanda (Borseele)	Holanda (Dodewaard)	40	
Italia[3]	Reino Unido	100	

[1] Un desmantelamiento postergado no ha sido descartado, al menos en algunas instalaciones.

[2] Hasta el final de la década de 1990, el desmantelamiento postergado fue la opción preferida (30 hasta 50 años)

[3] Ocurrió un cambio de decisión, inicialmente fue considerado un desmantelamiento postergado.

Desde el punto de vista de la seguridad nacional, el cierre de una planta representa un problema similar al del manejo de los desechos nucleares. En ambos casos el Estado debe tomar medidas de cobertura con el objetivo de garantizar que los medios necesarios sean aportados por los desarrolladores del proyecto. Sin embargo, a diferencia del manejo de los desechos nucleares de alto nivel de radioactividad, a nivel internacional existe extensa experiencia respecto al cierre de instalaciones nucleares.

Al término de la vida útil de una central nuclear se debe incurrir en una inversión considerable para su cierre, cuyo costo puede alcanzar entre un 10 y un 15% del costo de inversión. Cabe considerar que el costo del cierre de una central nuclear depende del método utilizado y del tipo de tecnología asociada al reactor nuclear. Algunos ejemplos son presentados en el ANEXO VI[77]:

Se debe considerar que la inversión de cierre de la central está situada al final de la vida útil del proyecto (40 o hasta 60 años), lo cual implica que el valor presente de la inversión se reduce considerablemente[78]. Bajo estas consideraciones, el valor presente de los costos de clausura de una central dentro de la evaluación de un proyecto nuclear tendría un efecto muy reducido. Sin embargo, los resguardos y garantías que exigen la Ley 18.302 (LSN) pueden exigir que los fondos para realizar el desmantelamiento sean cubiertos de forma anticipada. De hecho, en la experiencia internacional se observa que este tipo de resguardo es obligatorio, pudiendo incluso requerir garantías financieras al inicio del proyecto.

Respecto de los fondos generados para dar cobertura a las actividades de cierre de la planta, estos son administrados de forma análoga a lo descrito en la sección 5.6.2, y para estimar la magnitud de los dineros a recaudar usualmente se realiza una auditoría de los costos requeridos, o alternativamente métodos heurísticos en base a una proporción de los costos de inversión.

[77] "Decommissioning Nuclear Facilities", World nuclear association (2009).

[78] Por ejemplo al considerar una tasa del 10% y una vida útil de 40 años, el valor presente de la inversión para el cierre de la planta se reduce a un 2,2% del valor sin descontar.

Posteriormente a la estimación de los costos, se debe definir cómo y cuándo deberán ser recaudados los fondos. A continuación, se describen algunos métodos de financiamiento de cierre de centrales observados en la experiencia internacional[79].

- Prepago: El dinero es depositado en una cuenta separada, incluso antes del comienzo de la operación de la planta nuclear. El dinero depositado sólo puede ser extraído para cubrir los costos del cierre. Este esquema es aplicado en Suecia y Finlandia, esquema que también es adoptado en Francia desde el año 2006.
- Fondo acumulado o seguros: La empresa paga una cuota anual desde sus ingresos, dinero que es acumulado y mantenido en un fondo, ya sea administrado por la propia empresa o por un organismo externo. La estimación de la cuota es calculada de acuerdo a una estimación de los años de vida útil del proyecto o a la energía generada esperada. En España, los aportes al fondo son descontados con una tasa de 1,5%, en Alemania se realiza con un 5,5%.
- Impuestos: El dinero es recolectado a través de un recargo en la tarifa final del suministro eléctrico. Los dineros son puesto en fondos fuera del control de las empresas. Estados Unidos es un caso particular que utiliza este método.

A pesar de la estrategia de recaudar fondos antes de la partida comercial de la central o durante su vida útil, aún quedan riesgos que no son cubiertos por las diferentes metodologías adoptadas.

- Estimación de los costos de cierre: debido a los largos periodos de vida útil de las centrales, los costos estimados de cierre de las centrales pueden variar considerablemente. En este sentido, algunos países estiman los costos de cierre según reglas generales, en cambio otros países lo realizan considerando en detalle los materiales y recursos humanos involucrados. No obstante, debido a la inflación y a la ocurrencia de contingencias dichas estimaciones pueden desviarse de los costos efectivos. Respecto a este riesgo, países como Finlandia y Suecia han adoptado medidas para su mitigación. En el caso de Finlandia se toma la precaución en caso de eventos no previstos, y garantías complementarias son requeridas por el Estado, las cuales pueden cubrir hasta un 10% de los costos estimados. En Suecia, las medidas son aún mayores, donde el Estado exige una garantía en caso de cierre temprano de las instalaciones y otra garantía en caso que los fondos sean insuficientes para realizar el desmantelamiento.
- Los fondos recaudados a los largo de la vida útil de las centrales no son suficientes en caso de un cierre temprano de alguna central nuclear. Se destaca el caso de Finlandia, donde parte de los costos estimados de desmantelamiento que hasta la fecha no son cubiertos por el fondo deben ser cubiertos por garantías financieras (seguros, garantías de bancos, hipotecas, otros). En caso de no cumplir con estas garantías, el gobierno revoca la licencia de operación de las centrales.

[79] Decommissioning Nuclear Facilities, http://www.world-nuclear.org/info/inf19.html

- Un eventual mal manejo de los fondos. Para evitar esta situación la mayoría de los países establecen la administración de los fondos por terceros, ya sea por el mismo Estado o por alguna empresa pública.

5.6.4 Seguros de responsabilidad civil

El daño nuclear causado por instalaciones o materiales radiactivos se encuentra enmarcado en la normativa nacional. Además el compromiso de indemnizar dichos daños recae exclusivamente sobre los titulares de las licencias, y deben ser respondidas en caso fortuito o de fuerza mayor[80]. Con el objetivo de garantizar la capacidad de realizar la eventual indemnización por daños nucleares, los titulares de las licencias deben contar con contratos de responsabilidad civil o garantías financieras aprobados por la CCHEN. No obstante, se establecen limitaciones de 75 MM USD y de 10 años para efectos de realizar la reclamación de daños.

El tema de seguros de responsabilidad civil se vislumbra como una barrera de entrada para proyecto núcleo-eléctricos, debido a la incertidumbre producida por el hecho de no contar con un reglamento que determine la forma y condiciones para el establecimiento de los seguros o garantías, cuya aprobación por la CCHEN condiciona la puesta en operación de las instalaciones nucleares. Esta barrera aplica principales a los primeros proyectos que eventualmente ingresen al mercado.

El potencial impacto de esta barrera radica en que los desarrolladores del proyecto núcleo-eléctrico deben afrontar incertidumbre respecto a los costos asociados a las garantías de su capacidad de indemnización. Esta reside en las condiciones impuestas por el regulador para la aplicación de dichas garantías y por eventuales cambios en los límites de dinero y tiempo que restringen la responsabilidad de los desarrolladores del proyecto. Adicionalmente, los primeros proyectos nucleares accederán a servicios de seguros más costosos debido a sus riesgos inherentes.

El desafío que han enfrentado los países con experiencia en centrales nucleares ha consistido en equilibrar el trade-off de otorgar garantías y coberturas a la población en caso de accidentes nucleares y a la vez no afectar la competitividad de este tipo de energía. De este modo, se han definido diversos límites de dinero y tiempo para efecto de realizar la compensación de daños que son cubiertos por los seguros. La decisión del establecimiento de estos límites recae en seguir las indicaciones de convenciones internacionales o de definirlos bajo sus propios criterios. Similarmente, los distintos países han debido definir cuidadosamente el concepto de “daño nuclear”, incluyendo o excluyendo justificadamente perjuicios provocados como por ejemplo actos terroristas. Respecto al desafío del acceso a seguros por parte de los primeros proyectos nucleares, algunos Estados participan en la responsabilidad ante accidentes nucleares, reduciendo los costos para el desarrollador del

[80] Excluyendo los daños causados por un conflicto armado exterior, insurrección o guerra civil.

proyecto. A continuación se describe cómo se han implementado soluciones relacionadas con la definición del marco regulador respecto a la responsabilidad civil de los proyectos núcleo-eléctricos.

En la mayoría de los países, los desarrolladores de proyectos nucleares son responsables de cualquier tipo de daño que se produzcan por accidentes, independiente de la falla. En este sentido, los Estados exigen la firma de seguros de compensación por concepto de responsabilidad civil. Los esquemas de seguros aplicables en los distintos países que utilizan energía nuclear están basados en un esquema internacional dado con las siguientes convenciones:

- La convención de la OECD en Paris, 1960.
- La convención de la IAEA en Viena, 1963

Los principios básicos que establecen estas convenciones son:

- La responsabilidad es atribuida exclusivamente a los operadores de las centrales nucleares.
- La responsabilidad del operador es absoluta.
- Establece las definiciones de daños nucleares.
- La responsabilidad es limitada en dinero y tiempo. La convención de Viena establece que cada Estado establece los límites. La de Paris fijó la responsabilidad hasta por €18 MM, lo cual fue aumentado a €360 MM por su convención complementaria de Bruselas.

Algunos de los principales países que utilizan energía nuclear no participan en ninguna convención del área, y han realizado sus propios esquemas para regular la contratación de seguros. Sin embargo, la mayoría de los países siguen los principios básicos de las convenciones internacionales. En el ANEXO VII se puede apreciar las distintas medidas que se han tomado en el ámbito internacional para dar solución a la problemática de los seguros de responsabilidad civil.

6 SOLUCIONES PROPUESTAS PARA LA MITIGACIÓN DE BARRERAS ASOCIADAS A PROYECTOS NUCLEARES

El presente capítulo describe las soluciones propuestas por el Consultor, respecto a la adopción de medidas de mitigación que permitan al inversionista levantar las barreras de entrada, que enfrenta la incorporación de un proyecto núcleo-eléctrico al mercado chileno. El fundamento de las propuestas se centra en la selección de las alternativas factibles presentadas en el capítulo 0, considerando, para cada barrera identificada en el capítulo 4, aquella que resulte más apropiada para el mercado eléctrico chileno, en base a la experiencia internacional, las entrevistas realizadas a los actores del sector y el análisis realizado por el Consultor.

La siguiente figura contiene un diagrama de flujos que representa, en distintos niveles jerárquicos, las barreras identificadas en este estudio para el desarrollo de un proyecto núcleo-eléctrico en Chile.

Al respecto se identifican dos ejes principales. En un primer término, cabe consignar que el proceso de identificación de barreras se lleva a cabo en base al supuesto de la existencia previa de un programa nuclear que permite desde un punto de vista legal, el desarrollo completo de un proyecto de este tipo. Por otro lado, la misma figura muestra al consenso nacional, la aceptación pública y el apoyo político como el segundo eje del análisis realizado para efectos de este estudio, presentándose como potenciales barreras a lo largo de cualquier etapa de un proyecto núcleo-eléctrico.

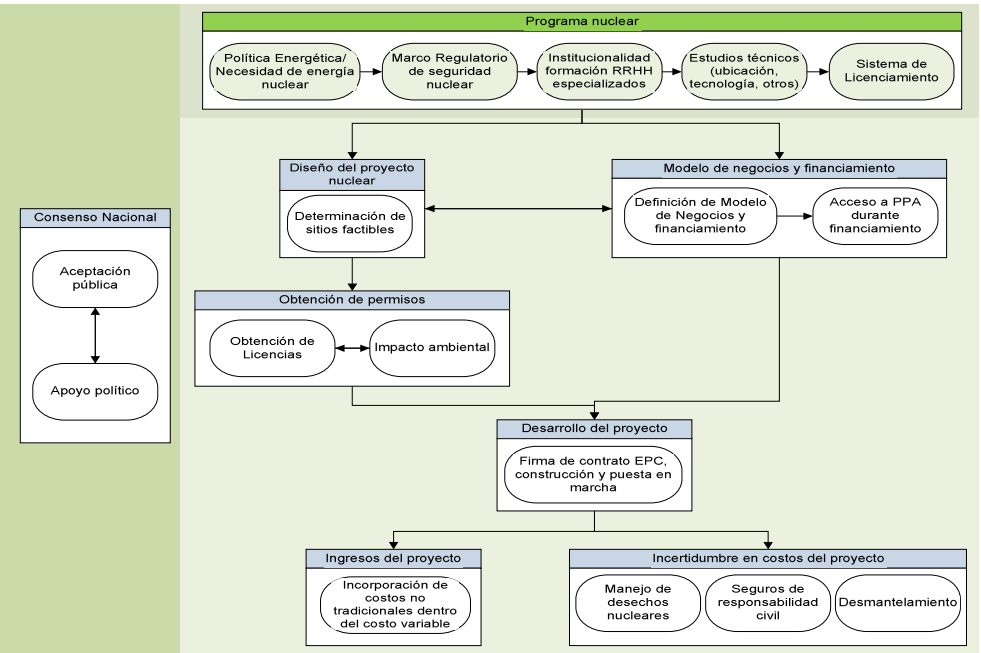


Figura 11: Diagrama de flujo de barreras de un proyecto núcleo-eléctrico en el mercado eléctrico chileno.

En este sentido, las barreras consideradas en el diagrama de la Figura 11, deben ser levantadas a través de un esfuerzo conjunto por parte del Estado y el sector privado. Bajo esta consideración, la Figura 12 resume la propuesta del Consultor respecto a la asignación de responsabilidades entre ambas partes, durante el desarrollo completo del proyecto.

A partir de la figura, se destaca que un proyecto nuclear, principalmente en su primera etapa, debiera ser concebido y sostenido por el Estado, de manera de buscar la mitigación de los riesgos referidos a la obtención de permisos, la localización del proyecto y la aceptación pública. La realización de estas tareas por parte del Estado se justifica debido a que las barreras asociadas a estas actividades provocarían que el sector privado no esté dispuesto a realizar el proyecto. Sin embargo, una vez que estas tareas hayan sido concretadas, es que el privado estaría en condiciones de participar de forma activa en el proyecto, a través de la concesión del sitio y la licitación de la construcción y operación de la planta.

En una etapa posterior, y luego de finalizar el proceso de licitación antes referido, la participación del Estado debería ser reducida sólo con el fin de mantener un consenso nacional en virtud del apoyo de la energía nuclear, garantizando una operación segura. Cabe destacar que esta reducción no resulta en ningún caso el que el Estado se retire de la participación del proyecto, sino más bien que entregue el control mayoritario al privado, manteniéndose como socio minoritario.

Es importante destacar que este esquema de licitación del proyecto nuclear, mitiga los riesgos asociados a la obtención de permisos de construcción y localización de las instalaciones de generación. Sin embargo, durante la operación de la central es condición esencial que rijan las leyes de mercado, es decir que el proyecto núcleo-eléctrico esté expuesto al mismo nivel de riesgo que cualquier otro tipo de empresa generadora presente en el mercado.

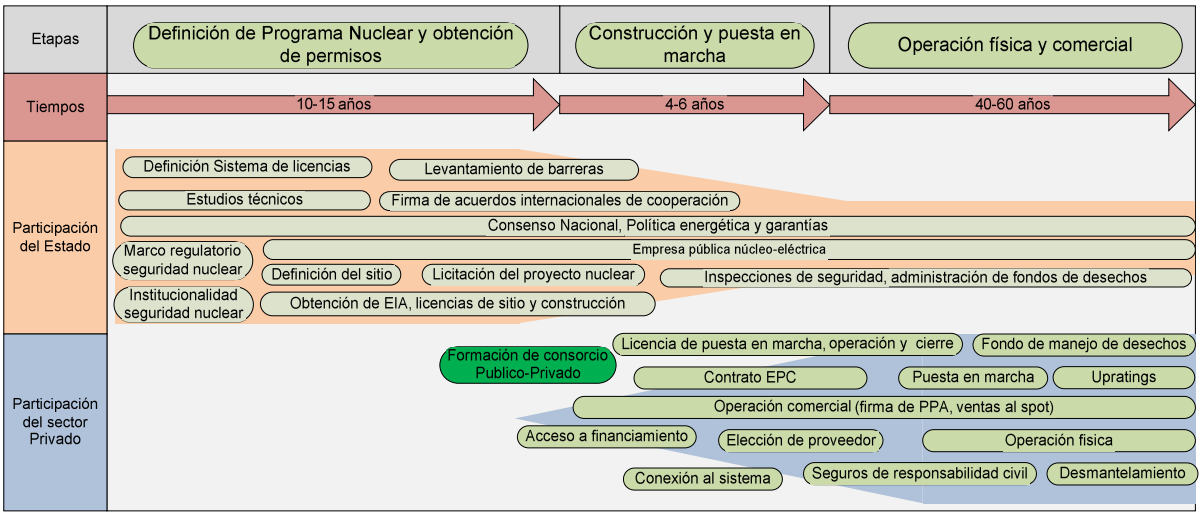


Figura 12: Modelo propuesto para el levantamiento de barreras con el objetivo del desarrollo de un proyecto nuclear en Chile.

En las siguientes secciones se realiza una explicación en detalle del levantamiento de cada barrera y de los cambios regulatorios involucrados.

6.1 Barreras asociadas a la viabilidad del proyecto.

6.1.1 Riesgo regulatorio y político

Como fue explicado en la sección 5.4.1, no existe una medida, o un conjunto de ellas, que permitan eliminar completamente el riesgo regulatorio y político. Si bien resulta una eventual barrera para cualquier tipo de proyecto, en el caso de un proyecto núcleo-eléctrico resulta especialmente importante debido a la necesidad de un compromiso país para su desarrollo. Es decir, la decisión del uso de la energía nuclear involucra a toda la nación, lo cual debe ser transformado en un apoyo mayoritario del mundo político. En este sentido es imposible asegurar que eventos tales como la llegada de un nuevo gobierno o un cambio en la opinión pública, mantengan los compromisos iniciales adquiridos con la energía nuclear, lo que eventualmente podría significar trabas o incluso el veto al uso de la energía nuclear.

Resulta necesario entonces generar señales de compromiso por parte del Estado, con el objeto que el sector privado participe en un proyecto nuclear. Una de las señales más significativas es la creación de un programa nuclear acorde a las necesidades de implementar un proyecto de este tipo en el país. Complementariamente, el Estado podría participar como socio de un consorcio público-privado, con el objeto de crear un compromiso concreto en el desarrollo del proyecto.

Sin embargo, y recalcando que la materialización del riesgo regulatorio y político no puede ser descartada, es que resulta necesaria la creación de garantías y compensaciones por parte del Estado, de manera de hacer frente a posibles cambios regulatorios que afecten a los proyectos nucleares en operación o en construcción. En un caso extremo, se debe garantizar la devolución de los costos de inversión a los desarrolladores del proyecto en caso de ocurrir un veto unilateral a la energía nuclear por parte del Estado.

Es importante destacar que para los efectos de este estudio se presupone la existencia de un programa nuclear, por lo que cual no se realizan propuestas regulatorias para su desarrollo. Sin embargo, es importante señalar que las garantías exigidas por los inversionistas debido al riesgo regulatorio y político, se ven reducidas en la medida que los Estados posean instancias formales de respaldo a las iniciativas nucleares. Ejemplo de ello sería la votación positiva de una Ley Marco Nuclear que apoye explícitamente el desarrollo de un programa de este tipo.

Respecto al proyecto nuclear en sí, el Consultor propone la definición de un modelo Public Private Partnership para el desarrollador del proyecto, en una configuración como la detallada al comienzo de este capítulo y que es representada gráficamente en la Figura 12. Al respecto, se recomienda que esta participación sea llevada a cabo a través de la conformación de una empresa estatal cuyo objeto exclusivo sea el desarrollo proyectos nucleares, en sociedad con la empresa privada.

Las propuestas anteriormente descritas no implican necesariamente cambios regulatorios profundos. El principal impacto que el Consultor percibe en este punto, es la definición de las líneas generales que permitan la formación de la empresa pública que representará al Estado en la conformación del consorcio público-privado responsable del desarrollo del proyecto nuclear.

Adicionalmente, el modelo propuesto permite que las garantías y compensaciones que pudiesen ser entregadas en caso de cambios políticos o regulatorios, quedasen establecidas dentro del contrato del consorcio, y no mediante la regulación. El hecho de que los intereses mismos del Estado sean comprometidos, y que éstos se encuentren relacionados directamente con el éxito del proyecto nuclear, es propuesto como una señal importante del compromiso del país, reduciéndose de esta forma los riesgos regulatorios y políticos que puede enfrentar el desarrollo del proyecto. No obstante lo anterior, y como ya se ha mencionado, en ningún caso la medida descrita mitigará por completo el riesgo, el que será inherente al proyecto en el resto de sus etapas de desarrollo.

6.1.2 Aceptación Pública

Como fue descrito en la sección anterior, la aceptación pública es prerrequisito fundamental para la existencia y permanencia en el tiempo de un apoyo político en favor del desarrollo de la energía nuclear. Si bien la participación del Estado, en un consorcio público-privado, pudiese otorgar un mayor grado de confianza en lo referido al tema nuclear, no es posible asegurar el apoyo mayoritario de la ciudadanía al respecto.

Es por este motivo que se vislumbra como fundamental, llevar a cabo la implementación de medidas que tengan como objeto informar y educar a la población a nivel nacional respecto de los beneficios de la energía nuclear, todo lo anterior en el marco de una política de Estado a largo plazo.

En este sentido, la experiencia internacional da cuenta de campañas masivas de educación como herramientas efectivas para lograr este objetivo, generalmente llevado a cabo a través de extensas campañas comunicacionales en la cual se cite los buenos ejemplos internacionales y las bondades de la energía nuclear, de manera de desmitificar su uso.

En este sentido, se recomienda llevar adelante una política responsable enfocada en transparentar toda la información respecto de la energía nuclear, de manera de esclarecer aquellos temas que generan inquietud y resultan desconocidos para la ciudadanía, y que por lo general se refiere a aspectos de seguridad y de costos relacionados con la tecnología nuclear.

A nivel local, y complementado la propuesta de compensación a los municipios por proyecto de generación eléctrica, se debe fomentar el desarrollo de un programa de mejoras en las condiciones de vida para aquellas zonas afectas al desarrollo nuclear (mayor oferta de trabajo, desarrollo de infraestructura, activación económica, otros), hecho que puede compensar el riesgo asociado a la instalación de una central nuclear.

Adicionalmente, se debe potenciar la participación activa de la población local respecto a temas de seguridad en la operación de la central, a través de audiencias públicas, por ejemplo, puede favorecer el proceso de adecuación de la ciudadanía.

Finalmente, y dado que resulta altamente probable que el desarrollador del proyecto se vea enfrentado a eventuales grupos opositores del uso de la energía nuclear, es importante definir medidas para enfrentar a dichos grupos, cuando los movimientos se sustentes en falsedades o impresiones sin fundamento respecto a la energía nuclear. Cabe destacar que el enfoque

siempre es educar a la comunidad de manera abierta y transparente, de manera de que en base a antecedentes reales, pueda generar su propia opinión de la energía nuclear, conociendo tanto sus ventajas como desventajas.

De esta forma, y dado los antecedentes anteriores, el Consultor propone la creación de instancias y la entrega de los medios que resulten necesarios para que la población local participe dentro de los distintos procesos de decisión del proyecto. La participación ciudadana debe darse principalmente en la etapa temprana del proyecto, en la selección del sitio de entre los técnicamente factibles declarados por la autoridad, y principalmente a la hora de adoptar a la energía nuclear como un proyecto país, en el sentido de que sea considerada como una alternativa necesaria para el suministro eléctrico futuro a nivel nacional. Complementariamente, se recomienda la creación de comités de fiscalización pública, conformada por representantes de la población local. El objetivo de estos comités es de transparentar la operación y planes de emergencia asociados a las plantas nucleares de potencia.

Sin embargo, para que la ciudadanía pueda participar a conciencia en estos procesos, resulta vital que sea previamente educada en todos los aspectos que involucren a la energía nuclear, permitiendo de esta manera que las personas puedan formarse una opinión propia, dejando de lado los prejuicios fundados en el desconocimiento o la publicidad adversa proveniente de otros sectores. En este sentido, los medios masivos de comunicación jugarán rol relevante en la percepción de la ciudadanía, a través de la transmisión de información completa y transparente, entregada de forma adecuada y equilibrada, sustentando de esta forma una opinión imparcial de la comunidad respecto a la energía nuclear.

En relación a las medidas precautorias para hacer frente a la aparición de campañas contrarias al uso de la energía nuclear, actualmente la regulación sobre seguridad nuclear (Ley 18.302) establece sanciones para aquellas personas que maliciosamente causen alarma pública respecto a la energía nuclear, divulgando noticias falsas de accidentes, riesgos o peligros que resultan inexistentes. Al respecto, esta medida entrega herramientas para enfrentar campañas falsas de terceros y debe ser considerada dentro de la regulación al momento de la ejecución de un programa nuclear.

La solución que se propone en este documento no requiere de cambios profundos en el actual marco regulatorio nacional, sino que del desarrollo de una voluntad política y privada para lograr la planificación, financiamiento y ejecución de un programa a largo plazo para la adecuación de la opinión pública a nivel nacional.

6.1.3 Localización del proyecto

Como fue explicado en la sección 5.4.3, la localización de las instalaciones de un proyecto núcleo-eléctrico requiere de un exhaustivo estudio de carácter técnico. El desarrollador del proyecto debe requerir entonces de apoyo, de manera de lograr hacer uso efectivo de los terrenos definidos como factibles para el desarrollo del proyecto, dado los posibles problemas de oposición por parte de la población local que pudiese enfrentar. Para hacer frente a estas dificultades se observa como necesaria la participación activa del Estado.

En este sentido, la propuesta del Consultor se refiere a que el proceso de selección de los sitios factibles para el desarrollo de una planta nuclear debe ser coordinado y validado por el Estado, siendo realizado por equipos técnicos altamente especializados e independientes. Con el objeto de garantizar la seguridad de las instalaciones nucleares, se recomienda que estos estudios sean realizados por al menos dos grupos de trabajo distintos.. Por lo demás, no resulta conveniente la total exclusión del privado en el proceso de selección del sitio, de manera de evitar que terrenos definidos por el Estado como apropiados para el desarrollo nuclear, no resulten factibles desde el punto de vista práctico para el desarrollo privado de un proyecto nuclear.

De esta forma, el Consultor propone la definición previa de una serie de sitios posibles, en una decisión conjunta estado-privado.

Respecto a la utilización de los sitios, cabe destacar que el desarrollador del proyecto posee herramientas limitadas de negociación para conseguir el uso efectivo de terrenos que el Estado pudiese declarar como factibles, con lo que puede verse enfrentado a problemas relacionados con la oposición a la venta de los terrenos o especulación de los precios por parte de los dueños de estos. Frente a este hecho, y tal como se indicó en la sección 6.1.2, se requiere de un apoyo activo por parte del Estado, a fin de garantizarle al inversionista el uso y explotación de los sitios definidos como factibles.

De acuerdo a los antecedentes recopilados en este estudio, el Consultor propone que el Estado, una vez que determine los sitios factibles, sea el encargado de gestionar la compra del terreno a través de Bienes Nacionales, los permisos ambientales y licencias para el uso del sitio, de manera de llevar a cabo posteriormente un proceso de licitación que defina quien se hará cargo de la construcción y operación de la planta. La adjudicación de dicha licitación debe corresponder al agente que presente la mejor oferta técnico-económica, y que cumpla con las exigencias de la regulación de seguridad nuclear.

Por lo demás, el desarrollador del proyecto debe exigir garantías respecto al uso del terreno durante toda la vida útil de la planta. Se propone que el terreno utilizado por el proyecto nuclear cuente con una concesión de largo plazo (indefinida o por lo menos 100 años), de igual forma que lo que actualmente ocurre con el caso de la energía geotérmica e hidráulica. Esta medida otorgará garantías respecto a su utilización durante la vida útil del proyecto, estableciendo derechos de servidumbre de uso tal como actualmente ocurre con las centrales hidráulicas.

Las modificaciones regulatorias que son requeridas para la implementación de las soluciones anteriormente expuestas, consisten principalmente en una reforma del DLF Nº4, con el objeto de definir un sistema de concesiones que sea aplicable a la energía núcleo-eléctrica. Con el objetivo de mitigar los riesgos regulatorios y políticos, debería mantenerse la condición respecto a que la concesión sólo puede ser revocada por el Presidente de la República y de forma fundamentada. Adicionalmente, se debe adecuar las condiciones actuales respecto a la revocación de la concesión debido a retrasos en la construcción, las cuales pueden perjudicar a centrales nucleares, dada su mayor exposición a este tipo de riesgos.

Por otra parte, el derecho a servidumbre debería considerar los terrenos necesarios para la construcción y ubicación de las instalaciones nucleares, así como también el perímetro de seguridad que establezca el marco regulatorio de seguridad nuclear.

Considerando lo anteriormente expuesto, se propone la consideración como referencia de la regulación concebida para el sistema de concesión de las autopistas urbanas, desarrollado en el país hace aproximadamente dos décadas.

El sistema de concesiones del Ministerio de Obras Públicas (MOP) tiene orígenes similares al planteado con un programa nuclear. A principios de la década de los noventa, la infraestructura pública de Chile se encontraba en una situación de gran deterioro que requería de una fuerte inyección de recursos. Sin embargo, la decisión de invertir en este frente no estaba exenta de complejidades, principalmente por los elevados montos de inversión requeridos y la incertidumbre de su retorno. Aquella dificultad inicial llevó al Estado a poner en práctica un innovador sistema de concesiones, sustentado en una alianza público-privada, donde por primera vez se hacía partícipe al sector privado en los procesos de inversión, mantención y explotación de grandes obras públicas.

Amparado en la Ley de Concesiones de Obras Públicas, el MOP otorga en concesión toda obra fiscal y, en caso que la obra a concesionar fuese competencia de otro organismo del Estado, delega a este Ministerio, mediante convenio mandato, la facultad de concesionarla.

En dicho modelo, el Estado llevó a cabo un proceso previo al proyecto, estableciendo un marco regulatorio y condiciones que permitiera el desarrollo de un proyecto de esta envergadura. Estableció mecanismos de expropiación para aquellos terrenos de propiedad privada, y definió los estándares y exigencias para el futuro constructor y operador del sistema.

De esta forma, una vez zanjados los temas que pudiesen incorporar incertidumbre al proyecto, fueron licitadas las obras y la operación de las vías, dejando por un período limitado la operación de estas instalaciones en manos de las empresas privadas. Cabe señalar que todas las obras, construcciones e inversiones realizadas bajo esta modalidad pertenecen al Estado, es decir, la empresa adjudicataria tiene la concesión del servicio, pero no la propiedad de la obra. De ahí que una vez terminado el periodo de concesión, el Estado puede llamar a una nueva licitación o administrarla directamente. En este sentido, el esquema utilizado para la ejecución por parte de los privados participantes de los proyectos, es el Sistema BOT (construir, operar y transferir, de sus siglas en inglés).

Considerando la experiencia asociada al sistema de concesiones de autopistas urbanas, se observa como factible la aplicación de un modelo similar al desarrollo de un proyecto nuclear. Sin embargo, se debe considerar que en el caso nuclear, se incursiona en un mercado que opera en un ambiente competitivo, por lo que es necesario resguardar que el sistema de concesión sólo realice una mitigación de riesgos asociados con la localización y obtención de permisos asociados al proyecto nuclear, no interfiriendo en los riesgos inherentes a la operación física y comercial del proyecto.

6.1.4 Obtención de Licencias

Como fue explicado en la sección 5.4.4, el sistema de licencias exige condiciones y medidas de cobertura para los proyectos nucleares, de manera de garantizar la seguridad de la población y el medio ambiente durante todas las etapas de desarrollo del proyecto. Estas medidas condicionan la puesta en marcha, operación y cierre del proyecto nuclear. En este sentido, las licencias pueden provocar retrasos al proyecto o la reducción de la flexibilidad de las opciones comerciales.

La libre elección de la tecnología genera un desafío importante desde el punto de vista regulatorio, dada la diversificación de opciones en el diseño y los distintos requerimientos que pueden tener cada uno de éstos, a la hora de definir las características del sistema de licenciamiento.

La propuesta del Consultor en este caso consiste en definir un conjunto de tecnologías como factibles, y en base a ellas, determinar tanto los requerimientos como exigencias del sistema, así como también la adecuación de los recursos humanos que son requeridos para el funcionamiento correcto de la institución encargada de otorgar los permisos. Lo anterior resulta fundamental para llevar a cabo el diseño de un sistema de licencias para proyectos nucleares en un país como Chile, que no posee experiencia en el tema. Adicionalmente, las tecnologías permitidas para el uso dentro del país deben estar respaldadas por acuerdos bilaterales de cooperación tecnológica, de recursos humanos y de suministro de insumos.

El sistema de licenciamiento establecido debe definir de forma clara, cada una de las actividades, requisitos y restricciones que deben ser aplicadas a un proyecto nuclear, de manera de evitar ambigüedades al momento de ser requerida su aplicación.
Respecto al diseño final de las instalaciones, éste deberá ser escogido por el privado, considerando tanto las exigencias impuestas en el marco regulatorio, como aquellas opciones comerciales disponibles que resulten la mejor combinación técnico-económica para el inversionista. Lo anterior siempre sujeto a las alternativas tecnológicas evaluadas como país para el desarrollo del programa nuclear, definición que se plasma al momento de definir el sistema de licenciamiento.
Otorgar libertad total para la elección del tipo de reactor a ser incorporado en el sistema eléctrico chileno, implica dejar constancia en el sistema de licenciamiento de las distintas particularidades presentadas por cada una de las tecnologías posibles, lo que genera un aumento de costos, dado principalmente por la cantidad de recursos humanos que deben ser capacitados de manera de llevar a cabo el licenciamiento. Por otro lado, al cerrarse a una sola tecnología eventualmente provocaría problemas en lo que respecta en la pérdida de competencia en el segmento.
De esta forma, la elección de la tecnología, y por ende el país con el que se llevará a cabo la alianza estratégica para el desarrollo del proyecto, debe considerar un punto de equilibrio entre el aumento de costos para el desarrollo del programa de licenciamiento, y la competencia entre los abastecedores de tecnología.
Considerando lo anterior es que la propuesta del Consultor en este punto se refiere a que el desarrollo del sistema de licencias debiese estar adaptado para un conjunto acotado de diseños, los cuales deben ser definidos en base a estudios realizados durante el desarrollo del

programa nuclear, y a distintos tratados internacionales que pueda llevar a cabo con distintos países que presenten desarrollo actual de la tecnología nuclear. A través de esta consideración es que se simplificarán aspectos en la práctica regulatoria, permitiendo reducir riesgos de retrasos en el proceso de obtención de licencias.
De forma general, y con el objeto de evitar retrasos en distintas etapas del proyecto, se recomienda que el sistema de licenciamiento considere al menos las siguientes características:

- Debe existir la flexibilidad para que el desarrollador del proyecto pueda optar a licencias integradas o por etapas. Dados los antecedentes analizados en el documento, es que se recomienda la concepción de un sistema divididos en etapas, de manera de permitir la realización de procesos en paralelo, agilizando el procedimiento de entrega de licencias.
- Los tiempos de validez de las licencias deben ser consistentes con la vida útil del proyecto, con la opción de extenderla. Dentro de la licencia deben definirse claramente la realización de fiscalizaciones periódicas que garanticen la seguridad de las instalaciones.
- El sistema de licenciamiento debe considerar sólo aspectos técnicos. De este modo el otorgamiento de las licencias debería estar en manos de una sola institución, independientemente de poder contar de la ayuda de otras instituciones técnicas. Además, instituciones del gobierno debiesen fiscalizar el otorgamiento de los permisos, siempre desde un punto de vista técnico, realizada a través de, por ejemplo, un comité de expertos.
- Se recomienda una activa participación ciudadana, la cual debe restringirse a aspectos específicos, esencialmente en lo que respecta a la licencia para el uso del sitio de emplazamiento. A la vez, el proceso de participación ciudadana debe tener un período de tiempo acotado.

No obstante, la adopción de las medidas anteriormente recomendadas, los primeros proyectos estarán sujetos a riesgos de retrasos, al considerar que el sistema de licenciamiento será aplicado por primera vez. En este sentido, es recomendable establecer un sistema de compensaciones en caso de retrasos en la obtención de permisos, generados por acción o inacción del organismo encargado de evaluar la otorgación de licencias.

Respecto a la licencia propiamente tal, y a las distintas etapas que deben ser consideradas para autorizar el desarrollo de un proyecto nuclear en el país, cabe destacar, en primer lugar, que los sistemas de licencias en general no dependen ni de la organización regulatoria ni reglamentaria. En la experiencia internacional se presentan diferentes sistemas de concesión de licencias, con énfasis puesto en determinados aspectos como sitio, diseño, construcción, pre-pruebas y puestas en servicio; y con una importante participación ciudadana en cada una de las etapas.

En este sentido, y a juicio del Consultor, la concesión de licencias se deberá realizar en distintas etapas, cada una considerando un proceso legal por separado:

- Diseño: Al respecto, la certificación de diseños genéricos pudiese ser una interesante forma de optimizar el proceso de licencias. La participación pública debe centrarse en temas de diseño, con un acceso restringido.
- Emplazamiento: Correspondiente a una etapa crítica para la aceptación del proyecto (Tema tratado en el punto 6.1.3). La selección del sitio está profundamente arraigado a la discusión del proyecto en todo su conjunto. Se debe considerar una licencia especial con proceso de discusión pública.
- Construcción, pruebas y operación: Son requerimientos técnicos y debe ser realizado por expertos, restringiendo a la opinión pública. Igualmente deben estar sujetos a la transparencia y abierto al escrutinio público.

Respecto a los cambios regulatorios necesarios para implementar las recomendaciones anteriores, se observa la necesidad de un reglamento que defina claramente las características, exigencias y responsabilidades del sistema de licenciamiento que actualmente se encuentra definido en la Ley 18.302 (LSN). En este sentido, el reglamento debiese ser elaborado en los orígenes del programa nuclear, de forma previa a la planificación de cualquier proyecto de este tipo. Dentro de este mismo reglamento podrían establecerse compensaciones en el caso de retrasos ocurridos por responsabilidad del organismo que otorgue la licencia.

Al respecto, y a modo de referencia para la aplicación en temas que pudiesen ser aplicables a un proyecto nuclear, el artículo 52º del Decreto Supremo 956 (D.S. 956), Reglamento de Concesiones, indica en su inciso tercero que cuando el retraso en el cumplimiento de los plazos parciales o del total, fuere imputable al Fisco, el concesionario gozará de un aumento en el plazo de la construcción igual al período de entorpecimiento o paralización, sin perjuicio de las compensaciones que procedan. Por otro lado, el Artículo 74º indica que las indemnizaciones que procedan para compensar al concesionario, en caso de que éste haya sufrido perjuicios, podrán expresarse en un aumento del plazo de la concesión, aportes del Estado, incrementos tarifarios o cualquier otro factor del régimen económico del contrato.

6.2 Barreras que crean incertidumbre en los costos financieros.

6.2.1 Retrasos durante la construcción

Como fue explicado en la sección 5.5.1, la construcción de centrales nucleares consiste en un proceso complejo, que requiere de conocimientos y materiales altamente especializados. Esto provoca que el proyecto se vea expuesto a importantes riesgos de retrasos.

Al considerar que no existe en el país la experiencia, el conocimiento, ni la infraestructura suficiente para llevar a cabo el diseño y construcción de una planta nuclear, se debiese realizar la firma de contratos EPC para el desarrollo del proyecto núcleo-eléctrico.

La propuesta por parte del Consultor al respecto, se refiere a que la firma de contratos EPC debiese considerar exigencias de coberturas, incentivos y la distribución de responsabilidades entre las partes interesadas (desarrollador/proveedor). En este sentido, se debe definir un pago fijo al contratista por el trabajo realizado, así como también, y de forma

complementaria, establecer multas al contratista en caso de retrasos causados por su negligencia, o premios por el término de obras dentro del plazo y presupuesto estimado inicialmente.

Por otro lado, la elección del contratista debe ser realizada considerando las opciones disponibles en el mercado y eventuales acuerdos de cooperación tecnológica que hayan sido firmados por el país, actividad en que el Estado debe cumplir un rol importante.

La solución propuesta a esta barrera no requiere mayores modificaciones al marco regulatorio actual. La ejecución de esta problema es resuelto entre los privados.

En este sentido, y citando nuevamente al Reglamento de Concesiones del Ministerio de Obras Públicas (MOP), D.S. 956, en su artículo 13º indica que el MOP precalificará a aquellos interesados que cumplan con los requisitos relativos a aspectos jurídicos, capacidad económica, financiera, técnica, aptitud o experiencia y podrá rechazar fundadamente aquellos que no resulten idóneos bajo estos criterios, para una determinada concesión.

A través de esta implicancia, es que el sistema de licenciamiento podría imponer requerimientos sobre el contratista del contrato EPC, al exigir de una certificación adecuada y de una experiencia mínima para llevar a cabo el trabajo.

6.2.2 Estudio de Impacto Ambiental

Como fue explicado en la sección 4.1.4, todo proyecto de generación mayor a 3 MW de capacidad debe contar con la aprobación de su impacto ambiental. Frente a esta situación, en el caso particular de centrales nucleares, algunos procesos de la evaluación del impacto ambiental pueden verse duplicados dentro del sistema de licencias. Por otro lado, el actual sistema de evaluación de impacto ambiental es genérico para todo tipo de central de generación. En este sentido no se reconocen las particularidades de una central nuclear (al igual que otros tipos de grandes proyectos).

La propuesta del Consultor en este punto indica la necesidad de llevar a cabo un estudio de impacto ambiental como una primera etapa del proyecto. Es importante en este punto, que la central nuclear no tenga trato preferencial, por lo que para efectos de mejorar la confianza de la opinión pública respecto a la energía nuclear, resultaría importante que el proyecto sea sometido al mismo estudio que el que enfrenta, por ejemplo, una central a carbón.

Sin embargo existen particularidad de una central nuclear que requieren de la realización de estudios adicionales, llevados a cabo como parte del sistema de licenciamiento, a través de estudios técnicos especializados para centrales nucleares, de acuerdo a la tecnología usada y sus requerimientos especiales.

Para implementar la solución propuesta es necesario modificar el D.S Nº95 del 2001, Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental, de manera que el estudio sea realizado en base al resultado del proceso de licenciamiento, proceso que debe incorporar las características y dificultades técnicas inherentes a este tipo de tecnologías.

No obstante lo anterior, cabe destacar que actualmente la gestión ambiental del país posee importantes falencias, requiriendo de una voluntad de decisión a nivel del gobierno que las

supere, lo que obligaría de paso a una modificación de fondo de la Ley Nº19.300 para darle al país una nueva institucionalidad ambiental.

Los asuntos ambientales son cuestiones de decisión netamente técnica, con un alto grado de complejidad, que incluso exige una participación de equipos multidisciplinario para estudiar el impacto que un proyecto de inversión puede producir en la naturaleza. Adicionalmente, la falta de participación ciudadana, hecho relevante en un proyecto como el nuclear, hace poco creíble los acuerdos de la autoridad.

Por otro lado, la institucionalidad actual permite que la CONAMA opere como un organismo coordinador de políticas ambientales y mero dictaminador de impactos ambientales a través del conocimiento que tiene de las materias y proyectos sometidos al SEIA, y por otro lado, uno se encuentra con un ente de carácter político destinado a resolver cuestiones técnicas.

Dada la necesidad de llevar a cabo dichos cambios profundos en la legislación, es que el Gobierno actualmente se encuentra tramitando una nueva normativa ambiental, la cual establece la creación del Ministerio de Medio Ambiente con facultades en materia de política y normativa ambiental. Respecto del Sistema de Impacto Ambiental, el proyecto de Ley modifica aspectos tales como la oportunidad, duración y sujetos de la participación ciudadana. Además, incorpora un nuevo instrumento de gestión ambiental denominado Evaluación Ambiental Estratégica, con el objeto de evaluar las políticas sectoriales con incidencia ambiental y en la sustentabilidad del país, lo cual abre una importante oportunidad para un proyecto nuclear. Esta nueva estructura, y principalmente lo relacionado con proyectos que resultan en desarrollo sustentable del futuro del país, podrían ver favorecidos el desarrollo de un proyecto como el nuclear.

Sin embargo, los procedimientos particulares de una central nuclear, para evitar la duplicidad de estudios medio ambientales y de licenciamiento, debiesen ser incorporados en la nueva normativa que se realice con motivo de la nueva institucionalidad. Es importante integrar adecuadamente estudios de impacto ambiental con estudios de seguridad nuclear.

6.2.3 Acceso al financiamiento

El eventual desarrollo de una central nuclear se caracteriza por un uso intensivo de capital. Al mismo tiempo, como ha sido descrito a lo largo del estudio, un proyecto núcleo-eléctrico se encuentra expuesto a mayores riesgos que cualquier otro tipo proyectos de generación convencional.

Debido al intensivo requerimiento de capital, se identifica la necesidad de acceder a la emisión de deuda para llevar a cabo un proyecto de este tipo, por lo cual la mitigación de los riesgos asociados se centra en la reducción de los costos de financiamiento, viabilizado de este modo el desarrollo del proyecto. Bajo esta consideración, se percibe que los primeros proyectos núcleo-eléctricos serán percibidos como más riesgosos, que sus eventuales sucesores, por lo que deberán acceder a un financiamiento más costoso.

Frente a este problema se propone que el proyecto nuclear a desarrollar en el país, se lleve a cabo a través de un levantamiento de capital que provenga de la conformación de un consorcio en el que compartan intereses y derechos de propiedad tanto el Estado como

privados. Entre los privados que podrían participar en este consorcio se consideran las empresas generadoras y grandes clientes como las empresas mineras. La conformación del consorcio público privado ya fue tratada en la sección 6.1.1.

Por otro lado, se considera recomendable que el Estado establezca beneficios y garantías para mitigar los riesgos o incluso aportar parte del financiamiento directo para los primeros proyectos desarrollados en el país.

Retomando nuevamente el ejemplo de las autopistas urbanas, el Reglamento de Concesiones del MOP, establece un sistema de garantías y seguros que dan confianza a todos los agentes que se relacionan con la construcción, operación y mantenimiento del contrato de concesión, y un esquema financiero que permite diversificar los riesgos de la inversión. En este sentido, el Sistema de Concesiones ha desarrollado un conjunto de instrumentos de financiamiento, que pueden ser aplicables para el caso nuclear, con las modificaciones que vengan al caso para la compatibilización con proyectos de este tipo.

Respecto a la participación de grandes clientes en el consorcio, no se considera la necesidad de cambios regulatorios.

6.2.4 Acceso a contratos en la etapa de financiamiento

Como fue explicado en la sección 5.5.4, los proyectos nucleares difícilmente podrán acceder a contratos de suministro durante la etapa de financiamiento. Consecuentemente, los proyectos núcleo-eléctricos tendrán mayores costos financieros, debido al mayor riesgo percibido producto de la incertidumbre en sus flujos de ingresos futuros.

En el caso de grandes clientes, su aversión al riesgo provoca que estos no estén dispuestos a contratarse con un periodo de 8 años de anticipación. En el caso de empresas distribuidoras, el marco regulatorio actual sólo exige que deben garantizar el suministro de sus clientes regulados por 3 años.

En este sentido, el Consultor propone incentivar la contratación con grandes clientes a través del otorgamiento de coberturas del consorcio público - privado que minimice el riesgo de cancelación o retraso en la puesta en marcha del proyecto. Por otro lado se recomienda que licitaciones de suministro de empresas distribuidoras se realicen con mayor plazo de anticipación respecto del momento de comienzo del contrato.

Las soluciones propuestas para el levantamiento de esta barrera implican la modificación del esquema de licitaciones de suministro de energía de las empresas distribuidoras. Este cambio tiene por objeto la creación de un esquema de suministro más amplio, tal que permita garantizar el suministro de energía a clientes regulados y a la vez entregue liquidez al mercado. El esquema propuesto es similar al desarrollado en el mercado eléctrico brasileño, y considera que distintas proporciones de consumo sean garantizadas para distintos horizontes de tiempo:

- Largo plazo: con el objetivo de garantizar el suministro, las empresas distribuidoras deben firmar contratos con una anticipación de 6 años, con una duración máxima de 20 años.

- Mediano plazo: con el objetivo de corregir proyecciones de demanda, la empresa distribuidora debe firmar contratos con 4 años de anticipación con una duración máxima de 5 años.
- Corto plazo: de manera de otorgar liquidez al mercado, las empresas distribuidoras deben contratar parte de su consumo de los próximos 3 años, con una anticipación de 1 año.

6.3 Barreras que crean incertidumbre en los costos operacionales.

6.3.1 Reconocimiento de costos no tradicionales para una central nuclear

Las centrales nucleares tienen asociados costos no tradicionales tales como el tratamiento de desechos nucleares, seguros de responsabilidad civil y el desmantelamiento de sus instalaciones.

Como se menciona en la sección 5.6.1 se puede presentar una barrera tecnológica, y no de mercado propiamente tal, en el sentido que al incorporar estos costos no tradicionales en los costos variables de la central, esta sea despachada fuera de base.

Al respecto, es importante señalar que, la central nuclear será incorporada a un sistema eléctrico sólo en la medida en que esta sea competitiva frente a las demás tecnologías existentes. Por lo demás, para cumplir con los lineamientos de competencia que rige el mercado de generación en el país, se debe ser enfático en que, si bien puede existir esta barrera tecnológica, no se debe llevar a cabo en ningún caso, un intervencionismo en los mecanismos de operación del mercado que actualmente presenta el CDEC, atentando contra el mecanismo de orden de mérito o el despacho que esta institución define.

Finalmente, se debe tener claramente en cuenta cuales de estos costos no tradicionales para una central nuclear resultan efectivamente costos variables. No se debe permitir que costos de inversión sean considerados dentro de los costos variables de un proyecto. Por ejemplo, a pesar de que en algunos países los costos de desmantelamiento son cobrados como variables según la generación de energía durante la vida útil del proyecto, el costo de desmantelamiento corresponde básicamente a una inversión. La incorporación de costos de inversión se transformaría en una señal distorsionada para la operación de la central en el mercado.

En este sentido, los desarrolladores de una central nuclear son los responsables de evaluar la competitividad de una central nuclear bajo el actual esquema de mercado. Al respecto, la firma de contratos con clientes libres o con empresas distribuidoras puede entregar herramientas de cobertura que garanticen que todos los costos de la central puedan ser recuperados con la debida rentabilidad exigida. En este sentido, es fundamental para los inversionistas que no exista incertidumbre respecto a los costos de una central nuclear al momento de decidir el desarrollo del proyecto.

6.3.2 Costos de manejo de desechos nucleares

A nivel internacional no existe una solución definitiva implementada para el almacenamiento de desechos nucleares. Esta situación produce incertidumbre al momento de invertir en un proyecto de este tipo.

En este escenario, el inversionista requiere tener un cierto grado de certeza respecto de los costos y responsabilidades que considera el manejo de desechos, a pesar de que estos costos se harán efectivos en una etapa tardía del proyecto.

Como ya se ha mencionado en el cuerpo de este informe, en la práctica internacional se han dado distintas medidas de cobertura de manera de exigir la recaudación de fondos que permitan el pago de dicha actividad durante la vida útil del proyecto.

Al respecto, se propone que el Estado sea quien defina una política de manejo de desechos, y defina cómo, quién y cuándo debe manejar el tratamiento de desechos nucleares. Al mismo tiempo, el Estado debe encargarse de recolectar un fondo que permita asegurar el financiamiento de la solución definitiva. Este fondo debería ser recaudado en base al pago de una cuota anual según la energía generada.

Respecto a la ubicación del repositorio, la solución no resulta clara. No obstante, es evidente, dadas las experiencias internacionales y lo visto en el cuerpo de este informe, que la localización debe ser decidida por el Estado, procurando la seguridad de la población.

Para implementar la solución recomendada, el método de almacenamiento de los desechos nucleares debe ser planificado por el Estado y ejecutado por los privados. Respecto al método de recolección de fondos, este debe ser establecido por un reglamento asociado a la ley de seguridad nuclear.

6.3.3 Costos de desmantelamiento

Como fue descrito en la sección 5.6.3 los costos asociados al desmantelamiento de una central nuclear representan en promedio entre un 10% y el 15% de la inversión, dependiendo de la tecnología y del futuro uso destinado a los terrenos utilizados por el proyecto.

En la práctica internacional se implementan medidas de cobertura, con el objeto de asegurar que los medios necesarios se encuentren disponibles en el momento en que éstos sean requeridos. Por ejemplo, algunos países requieren que se realice un prepago de estos costos o que opcionalmente se pague en cuotas a lo largo de la vida útil.

Esta situación crea para el inversionista un problema análogo al de los costos de manejo de desechos nucleares, debido a que se requiere realizar una estimación de costos que serán efectivos en etapas tardías del proyecto, y también dado que debe definirse el método que será utilizado para llevar a cabo el cierre de la central. Esta situación produce incertidumbre respecto al costo efectivo que es requerido para el desmantelamiento.

En este sentido, la opción de postergación del desmantelamiento se observa como la mejor alternativa, debido a que reduce el valor presente de los costos. Respecto a la recolección de fondos, estos deben ser realizados en forma análoga al sistema propuesto para el manejo de desechos nucleares. Con lo cual, esta actividad sería realizada de forma conjunta en ambos

casos. En relación a la estimación del costo, se recomienda realizar un costo auditado, el cual debería ser actualizado periódicamente, por ejemplo anualmente.

La solución recomendada debe ser establecida mediante un reglamento asociado a la ley de seguridad nuclear. El método de recolección de fondos deberá ser compatible con aquel destinado al manejo de desechos nucleares.

6.3.4 Seguros de responsabilidad civil

Como fue descrito en la sección 5.6.4 los desarrolladores del proyecto son responsables de cualquier daño provocado por accidentes nucleares en la totalidad de los casos, estando sujetos la exigencia de contar con garantías financieras o seguros de responsabilidad civil para la eventual compensación de daños.

La actual ley de seguridad nuclear limita la responsabilidad civil a través de montos de dinero y del tiempo en que resulta válido el pago de compensaciones. Respecto al monto, su valor se encuentra claramente desactualizado respecto a convenciones internacionales, por lo cual debe ser modificado. En este sentido, se presenta un desafío en la medida de lograr la cobertura de la población en lo que respecta a temas de seguridad, sin que esto afecte de forma significativa la competitividad de los proyectos nucleares. En el caso particular del primer proyecto nuclear, éste enfrentaría mayores costos para acceder a la firma de los contratos requeridos, dado los riesgos propios del proyecto pionero.

Por otro lado, se debe garantizar el acceso a seguros de responsabilidad civil, debido a que en caso contrario el desarrollador del proyecto no estaría dispuesto a operar dado el riesgo de un accidente y tener que compensar bajo sus medios los eventuales daños nucleares.

Para contar con seguros de responsabilidad civil, se debe permitir que los proyectos núcleo-eléctricos accedan a pools de seguros establecidos internacionalmente. En este sentido se debe considerar la ayuda para los primeros proyectos. Se recomienda crear un marco regulatorio en base a las convenciones internacionales, tanto para el caso de los pools de seguros como para los montos de cobertura en la ley de seguridad.

La propuesta se centra entonces en la definición de los montos de cobertura como punto fundamental, ya que con ella el inversionista podrá evaluar los costos asociados para contar con los seguros de responsabilidad civil necesarios. A la vez, se debe considerar el otorgamiento de beneficios a los primeros proyectos nucleares respecto a la cobertura que involucra los seguros, en virtud de mitigar los riesgos a los que se verá enfrentado.

Frente a este tema, la actual ley de seguridad nuclear establece que el Estado podrá autorizar el otorgamiento de garantías en caso de que algún proyecto no pueda acceder total o parcialmente a un seguro que cubra su responsabilidad civil. Esta medida debería ser mantenida durante el desarrollo de un programa nuclear.

Considerando nuevamente el ejemplo del desarrollo de las autopistas urbanas, el Reglamento de Concesiones, en su artículo 62º se refiere a que la sociedad concesionaria deberá adoptar, durante la concesión, todas las medidas para evitar daños a terceros y al personal que trabaja en la obra. Igualmente, deberá tomar todas las precauciones para evitar daños a la propiedad

de terceros y al medio ambiente durante la concesión de la obra. No obstante lo anterior, será la única responsable de todo daño, de cualquier naturaleza, que con motivo de la ejecución de la obra y de su explotación se cause a terceros, al personal de la obra, a la propiedad de terceros o al medio ambiente, a menos que el daño sea exclusivamente imputable a medidas impuestas por el MOP después de la publicación del decreto supremo de adjudicación en el Diario Oficial.

Adicionalmente, el artículo 63º indica que el concesionario será siempre responsable del cumplimiento cabal, íntegro y oportuno del contrato de concesión, de la correcta ejecución de los proyectos y de las obras, y del cumplimiento de todas las obligaciones establecidas en el contrato de concesión, sin perjuicio de las funciones de dirección y control que corresponden al Ministerio de Obras Públicas.

Frente a este tema, la actual ley de seguridad nuclear establece que el Estado podrá autorizar el otorgamiento de garantías en caso de que algún proyecto no pueda acceder total o parcialmente a un seguro que cubra su responsabilidad civil. Esta medida debería ser mantenida durante el desarrollo de un programa nuclear.

6.4 Resumen de soluciones propuestas

El resumen de las soluciones propuestas para cada una de las barreras se muestra a continuación:

Tabla 9: Resumen de propuestas para la mitigación de barreras

Propuestas para mitigación de barreras asociadas a proyectos núcleo-eléctricos en Chile.	
Barreras que afectan la decisión de inversión	
BARRERAS	SOLUCIONES PROPUESTAS
RIESGO REGULATORIO Y POLÍTICO	- Promulgación de una ley que apruebe programa nuclear, en base a un amplio concenso político. - Definición de un proyecto nuclear consistente en un modelo PPP. Estado participando como socio minoritario a tráves de una empresa pública. - Estado debe entregar señales de compromiso a largo plazo, establecimiento de garantías y compensaciones para los inversionistas en caso de cambios regulatorios que impliquen un perjuicio a proyectos nucleares.
ACEPTACIÓN PÚBLICA	- Creación de un programa de adecuación de la opinión publica. - Campaña de comunicación respecto a los beneficios de la energía nuclear. - Transparentar los procesos de obtención de permisos y las medidas de seguridad adoptadas. - Permitir y apoyar la participación activa de la población, dentro de medios y plazos claramente definidos. - No permitir la proliferación de campañas antinucleares que divulguen falsedades o imprecisiones respecto al uso de la energía nuclear - Establecer un programa de compensaciones a la comunidad local que acoja a centrales nucleares.
LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	- El Estado debe realizar estudios de factibildiad preliminares de bajo perfil para el emplazamiento de centrales nucleares - El Estado debe adquirir los sitios candidatos a traves de Bienes Nacionales. - El Estado debe escoger dentro de los sitios candidatos el o los sitios que cumplan con todos los requerimientos técnicos, tomando en cuenta la participación de todos los agentes incumbentes - El Estado debe obtener las licencias y la aprobación del impacto ambiental necesarios para hacer uso del sitio escogido. - Un vez concluida estas actividades se llama a licitación para encontrar el socio para llevar a cabo del proyecto.
OBTENCIÓN DE LICENCIAS	- El Estado, dentro de su programa nuclear, debe definir un sistema de licencias que reguarde la seguridad del medio ambiente y a la vez no cause perjuicios para el desarrollo de un proyecto nuclear. - Debe existir flexibilidad en la integración o división de las licencias. - El tiempo de vigencia de las licencias debe ser acorde a la vida útil del proyecto. - Un solo organismo técnico debe ser el encargado de otorgar las licencias. - La participación ciudadana debe estar bien definida y acotada. - Es recomendable establecer compensaciones por retrasos de los organismos públicos responsables en la aplicación del sistema de licencias para los primeros proyectos.

Barreras asociadas a proyectos núcleo-eléctricos en Chile.	
Barreras que crean incertidumbre en los costos financieros	
BARRERAS	SOLUCIONES PROPUESTAS
CONSTRUCCIÓN	- Contratos EPC correctamente definidos y en concordancia con las exigencias del sistema de licenciamiento. - Se deben fijar exigencias de certificación y de experiencia minima de los contratistas. - Se deben firmar acuerdos internacionales de transferencia tecnológica
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	- La evaluación del impacto ambiental debe ser compatible dentro del sistema de licenciamiento. - La evaluación del impacto ambiental debe considerar las particularidades de un proyecto nuclear. - La evaluación debe ser realizada por la Institucionalidad adecuada
ACCESO AL FINANCIAMIENTO	- Se recomienda la conformación de consorcios públicos-privados. - Con el objetivo de minimizar el riesgo del proyecto pueden incluirse dentro del consorcio a socios como otras empresas generadoras, grandes clientes, suministradores de tecnología, entre otros. - El Estado puede entregar garantías, seguros y coberturas para los primeros proyectos.
ACCESO A CONTRATOS EN LA ETAPA DE FINANCIAMIENTO	- Lograr firma de contratos de suminsitro con grandes clientes mediante otorgación de medidas de cobertura de riesgos. - Flexibilización del sistema de licitaciones para suministro de EEDD.

Barreras asociadas a proyectos núcleo-eléctricos en Chile.	
Barreras que crean incertidumbre en costos operacionales	
BARRERAS	SOLUCIONES PROPUESTAS
RECONOCIMIENTO DE COSTOS NO TRADICIONALES	- Es responsabilidad de los desarrolladores del proyecto evaluar la competitidad en costos de un proyecto nuclear. - Los costos variables auditados asociados a centrales nucleares deben ser adecuadamente calculados por el CDEC. - La recuperación de costos puede garantizarse dentro de los precios en los contratos de suministro con clientes libres o empresas distribuidoras. - No debe existir incertidumbre en los costos de una central nuclear
COSTOS DE MANEJO DE DESECHOS NUCLEARES	- Debe definirse dentro del programa nuclear el proyecto para el almacenamiento de desechos radiactivos. - El costo de la solución debe ser estimado y actualizado periódicamente. - Los costos deben ser cubiertos por los desarrolladores del proyecto, y pagados bajo las medidas de cobertura que establezca el Estado. - La recolección de los medios necesarios debe realizarse mediante un fondo acumulado durante la vida util de los proyectos nucleares
COSTOS DE DESMANTELAMIENTO	- Se debe elegir el método para realizar el cierre de las centrales nucleares (tipo de desmantelamiento y futuro uso del sitio). - Se debe garantizar que los costos deben ser cubiertos por los desarrolladores del proyecto. - Los medios necesarios deben ser cubiertos a traves de un fondo, el cual podria ser común al asociado al tratamiento de desechos radiactivos. - El monto de la inversión debe ser estimado de forma auditada y periodicamente actualizado.
SEGUROS DE RESPONSABILIDAD CIVIL	- Marco regulatorio debe definir claramente el daño nuclear, eventos no cubiertos por el seguro. Adicionalmente, se debe establecer los límites de dinero y tiempo para realizar la compensación. - Permitir el acceso de pools a aseguradores internacionales. - El Estado puede entregar beneficios para conseguir seguros a los primeros proyectos nucleares.

7 CAMBIOS PROPUESTOS EN LA REGULACIÓN

Se presenta a continuación una revisión de cambios regulatorios del sector eléctrico que se estima deben realizarse en el marco vigente, de manera de permitir el ingreso de una central nuclear al sistema eléctrico chileno. Se asume que se desarrollará legislación y regulación de aspectos de seguridad nuclear propiamente tal, incluyendo definiciones de esquemas de licenciamiento, institucionalidad, y otras materias no atingentes al mercado eléctrico.

Las regulaciones y documentos revisados fueron los siguientes:

- Ley General de Servicios Eléctricos, DFL Nº4.
- Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos, DS327.
- Norma Técnica.
- Reglamento Interno del CDEC.
- Manuales de Procedimiento del CDEC.

De la revisión de los documentos anteriores, se identifica aquellos artículos que tienen relación directa con el ingreso de una central nuclear, artículos para los cuales se propone modificaciones puntuales, en base a lo analizado a lo largo de este estudio.

7.1 DFL Nº4

Título I DISPOSICIONES GENERALES.

Artículo 2º Concesiones:

Se debe reformular el artículo incluyendo a los proyectos nucleares como sujetos de concesión, en el contexto propuesto en el estudio.

Artículo 9º: Se deben definir las atribuciones de la autoridad nuclear que tengan relación con la operación de la central, siempre con la concepción de la seguridad como eje central.

Título II DE LAS CONCESIONES Y PERMISOS

Artículo 11º Resulta fundamental que las concesiones mantengan su carácter definitivo.

Artículo 19º La estrategia de manejo de combustible y costos de desmantelamiento, así como también el suministro de combustible, debe ser informado a la autoridad nuclear en etapas en que se lleva a cabo la solicitud de la concesión provisional a la Superintendencia. Deben ser coherentes los plazos de la concesión provisional con la realidad de una central nuclear.

Se debe definir un perímetro de seguridad para las centrales nucleares.

Artículo 39º Dada las complejidades de una planta nuclear, sobre todo para la primera planta a construirse, se debe flexibilizar/ampliar las razones de caducación de la concesión definitiva de servicio eléctrico, principalmente en lo referido al cumplimiento de plazos.

Artículo 41º La concesión de una central nuclear solo deberá ser revocada por el Presidente de la República y de forma fundamentada, otorgando de esta forma un mayor respaldo político al proyecto.

Artículo 48º Se deben definir acciones de expropiación para aquellos terrenos que el Estado defina como factibles para la realización de un proyecto nuclear, de manera de asegurar el derecho de explotación en el largo plazo de dichos terrenos.

Artículo 50º Definir el perímetro de seguridad para las centrales nucleares.

TÍTULO III DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO IV DE LA EXPLOTACIÓN DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS Y DEL SUMINISTRO

Artículo 133º Se deberá definir una nueva estructura de licitación de las empresas distribuidoras, considerando horizontes de corto, mediano y largo plazo para llevar a cabo las ofertas.

Artículo 138º Se debe definir el rol de la autoridad nuclear en la búsqueda de la operación segura de la central, y su relación con el CDEC.

Artículo 139º Destacar que el operador de la central es el único responsable de todo daño, de cualquier naturaleza, que con motivo de la construcción u operación de la central ocurriese. Se debe definir que sucede ante la ocurrencia de situaciones de riesgo, a pesar del cumplimiento a cabalidad de las exigencias de seguridad a los que un proyecto nuclear es sometido. En el caso de la ley de concesión de las autopistas urbanas, la responsabilidad del operador se limita en el caso de que el daño sea imputable exclusivamente a medidas impuestas por el MOP.

Artículo 146º Definir responsabilidades del operador de la central en condiciones de quiebra, principalmente lo que se refiere al trato de material radioactivo y cuáles deben ser las actividades a realizar de manera de minimizar los riesgos para la población aledaña.

TÍTULO V DE LAS TARIFAS

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO VI DEL PANEL DE EXPERTOS

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO VII DISPOSICIONES PENALES

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO VIII DISPOSICIONES VARIAS

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO IX DISPOSICIONES TRANSITORIAS

No se requieren cambios regulatorios.

*7.2 **DS 327***

TÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

Articulo 2º Se debe incorporar como autoridad al regulador nuclear.

TÍTULO II: CONCESIONES, PERMISOS y SERVIDUMBRES

Artículo 3º Incorporar concesión obligatoria para centrales nucleares.

Artículo 12º Servidumbres: mismo tratamiento que para el DFL 4.

Capítulo 2, 3 y 4: Concesiones, mismo tratamiento que para DFL 4.

Artículo 71º Servidumbres: se deben definir de forma explícita la servidumbre específica para centrales nucleares, y exigencias que son requeridas para una operación segura de la central.

TÍTULO III: RELACIONES ENTRE PROPIETARIOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CLIENTES Y AUTORIDAD

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO IV: INTERCONEXIÓN DE INSTALACIONES

ARTÍCULO 165º Se debe hacer énfasis el concepto de seguridad ante todo, por lo que la coordinación de la operación de las instalaciones eléctricas también deberá ser velada por la regulación nuclear.

ARTÍCULO 171º Para el cumplimiento de sus funciones, cada CDEC elaborará y aprobará un reglamento interno, el que deberá ajustarse a las disposiciones de la ley y reglamento eléctrico, además de lo indicado en la regulación nuclear respecto a la operación segura de las centrales de esta tecnología.

TÍTULO V: INSTALACIONES Y EQUIPO ELÉCTRICO

ARTÍCULO 210º Se indica que el proyecto, la construcción y el mantenimiento de instalaciones sólo podrán ser ejecutados por personal calificado, de acuerdo a lo establecido en los reglamentos y normas técnicas vigentes. Se debe agregar consideraciones respecto a una central nuclear, a través de preclasificación de los interesados en prestar el servicio, de manera de que cumplan con aspectos jurídicos, capacidad económica, financiera, técnica, aptitud o experiencia, y podrá rechazar fundamentadamente a aquellos que no resulten idóneos bajo estos criterios.

ARTÍCULO 214º Los operadores de las instalaciones nucleares deberán adoptar constantes medidas para evitar daños al personal que trabaja en la planta, a terceros y al medio ambiente, durante todo el ciclo de vida de la planta. El operador será responsable de cualquier suceso ocurrido, en cualquier etapa de construcción y explotación de la central. Por lo mismo, y dado los montos involucrados en un proyecto como este, es que serán exigidos seguros de responsabilidad civil. Estos seguros pueden ser obtenidos mediante pools de seguros en base a convenciones internacionales al respecto, por montos que permitan dar cobertura ante estos escenarios.

TÍTULO VI: CALIDAD DE SERVICIO Y PRECIOS

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO VII: MULTAS Y SANCIONES

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO VIII: DISPOSICIONES VARIAS

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO IX: DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Se deben incorporar artículos relacionados a los primeros proyectos nucleares, principalmente en lo que se refiere al acceso al financiamiento, dado por mecanismos como los definidos en el Reglamento de Concesiones del MOP, y el acceso a los seguros de responsabilidad civil, caso en el cual el gobierno deberá autorizar el otorgamiento de garantías en caso de que algún proyecto no pueda acceder total o parcialmente a un seguro que cubra su responsabilidad civil.

7.3 Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio NTSyCS

CAPÍTULO Nº 3 Exigencias Mínimas para Diseño de Instalaciones:

TÍTULO 3-2 EXIGENCIAS GENERALES

Artículo 3-3 literal a) En el caso de centrales nucleares, se especificará que el diseño, fabricación, ensayos e instalación se realizará con normas que especifiquen sus licencias respectivas.
Artículo 3-4 literal b) En el caso de centrales nucleares, para asegurar la calidad asísmica, en el diseño de sus instalaciones aplicarán las normas que especifiquen las licencias respectivas.

TÍTULO 3-3 INSTALACIONES DE GENERACIÓN

Articulo 3-10 Agregar artículos que reflejen las condiciones para la operación de centrales nucleares entre los limites de sobre y subfrecuencia. En este sentido, se debe agregar una columna a la tabla contenida en el artículo 3-10.

CAPÍTULO Nº5 Exigencias para Estándares de Seguridad y Calidad de Servicio

TÍTULO 5-12 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL SUMINISTRO EN INSTALACIONES DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN

Articulo 5-69 se debe definir un estándar de indisponibilidad programada y forzada aceptable para centrales nucleares. En este sentido, se debe agregar una fila a la tabla contenida en el artículo 5-69 de la NTSyCS.

CAPÍTULO Nº6 Estudios para Programación de la Seguridad y Calidad de Servicio
TÍTULO 6-11 ESTUDIO PARA PRS

Nuevo Articulo Se debe definir un procedimiento de puesta en marcha de centrales nucleares, el cual debe ser compatible con lo establecido en sus licencias de operación. El procedimiento debe asegurar al menos:

1. El suministro suficiente y seguro de los SSAA durante el proceso de partida.

2. Asegurar adecuados niveles de voltaje y frecuencia en la barra de conexión de la central nuclear.

3. Se debe asegurar que se hayan realizado las inspecciones y otorgado los permisos pertinentes, en caso de que sean necesarios, para proseguir con la puesta en marcha de la central nuclear.

CAPÍTULO Nº 8 Habilitación y Monitoreo de Instalaciones

Artículo 8-31 Se debe agregar el caso especial de centrales nucleares. En este sentido, la Auditoria Técnica mencionada en este artículo, en caso de ser requerida a instalaciones nucleares, debe ser coordinada con el CDEC y el regulador nuclear.

Artículo 8-32 Con relación al artículo anterior, los antecedentes asociados a la solicitud de Auditoria Técnica deben ser enviados al regulador nuclear. En este sentido, se debe modificar el literal e), en que la copia referida deberá ser enviada a la SEC y al regulador nuclear.

Artículo 9-33 En el caso especial de centrales nucleares, el no cumplimiento de los estándares de SyCS deberá ser informado a la SEC y al regulador nuclear. Además, las restricciones operativas de instalaciones nucleares impuesta por la DO, deberá ser coordinada con el regulador nuclear.

CAPÍTULO Nº 9 Información Técnica

TÍTULO 9-10 UNIDADES GENERADORAS

Artículos 9-14, 9-15,9-16 y 9-17 Se debe agregar la petición de información respecto a datos técnicos de las instalaciones nucleares, específicamente asociados a su: maquina motriz, fuente primaria de energía, controlador de velocidad y controlador de tensión. En general se requerirá información similar que a las centrales termoeléctricas con turbina a vapor, pero adicionalmente se requerirá el esquema de sus sistemas de seguridad, y todas las restricciones impuestas dentro de las licencias de operación de dichas centrales.

7.4 Reglamento Interno del CDEC

TÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 3º Se debe incorporar la relación entre el CDEC y el regulador nuclear.

ARTÍCULO 5º Se debe definir responsabilidades y atribuciones de CDEC y regulador nuclear en la operación de las centrales nucleares.

TÍTULO II DEL DIRECTORIO DEL CDEC-SIC

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO III DE LAS DIRECCIONES DE OPERACIÓN Y PEAJES

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO IV DEL COMITÉ DE EXPERTOS

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO V DE LA INCORPORACIÓN Y RETIRO DE UNIDADES E INSTALACIONES

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO VI DE LA PROGRAMACIÓN DE LA OPERACIÓN

ARTÍCULO 63 Se debe indicar atribuciones de regulador nuclear y CDEC en la operación de una central nuclear.

ARTÍCULO 65 Indicar requerimientos de plazos de entrega de combustible nuclear, de stock existente, consumos y eficiencias.

TÍTULO VII DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MAYOR

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO VIII LA OPERACIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC)

ARTÍCULO 92 Se podrían considerar para la central nuclear ciertas condiciones especiales de operación, dadas principalmente por acciones que apunten a mejora la seguridad de la operación de la central, y que no estén previstas en la programación de operación del CDEC.

TÍTULO IX DE LOS INFORMES DE LA OPERACIÓN

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO X DEL USO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

No se requieren cambios regulatorios.

TÍTULO XI DE LAS TRANSFERENCIAS

No se requieren cambios regulatorios.

DISPOSICIONES VARIAS

No se requieren cambios regulatorios.

7.5 Manuales de Procedimiento CDEC

CENTRO DE DESPACHO Y CONTROL DEL CDEC-SIC Y CENTROS OPERACIONALES

Se debe agregar un capítulo donde se consideren pruebas al reactor de manera de garantizar la seguridad de la operación.

CONDICIONES ESPECIALES DE OPERACIÓN DE EMBALSES

No se requieren cambios regulatorios.

NORMALIZACIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO

No se requieren cambios regulatorios.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MAYOR DE UNIDADES GENERADORAS, LÍNEAS DE TRANSPORTE Y SUBESTACIONES

No se requieren cambios regulatorios.

PROGRAMACIÓN DE CORTO PLAZO O PROGRAMA DIARIO

No se requieren cambios regulatorios.

MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA INFORMAR EL COSTO DE LOS COMBUSTIBLES

Se debe incorporar la manera en que el operador de la central debe informar los precios del combustible. Debe indicar características como el origen, el precio en dicho lugar (FOB), los costos de fletes, seguros de transporte, valor puesto en puerto de destino (CIF), derechos de internación, mermas, agente de aduana, servicio de descarga, transporte a la central y seguros adicionales dado la peligrosidad del material que es transportado. Adicionalmente se podrá informar respecto al tiempo esperado de duración del combustible y la fecha estimada del próximo embarque.

Debe informarse además los costos de manejo de desechos por unidad de energía generada.

Los valores deben ser justificados a través de un informe con la información del costo del combustible o su costo variable de generación de su planta. Los valores de combustible o costo variable de generación informados regirán por períodos trimestrales y serán aplicables para todo el horizonte de planificación.

8 IMPLICANCIAS DE LA ENTRADA DE UN PROYECTO NUCLEAR AL SISTEMA ELÉCTRICO CHILENO

Dentro del contexto del estudio de una central nuclear en Chile, en este capítulo se evalúa el impacto que presenta la entrada a operación de una central de este tipo en el mercado eléctrico chileno. Para esto, conjuntamente con analizar el costo de desarrollo de una central nuclear, se evalúan los efectos que produciría su introducción en los costos marginales del sistema; las emisiones totales de CO_2 y el efecto sobre otros agentes que operan en el mercado. Para cumplir con estos objetivos, se simuló el desarrollo de un programa nuclear que se materializa en la construcción de dos centrales nucleares, de 1100 MW cada una, en el Sistema Interconectado Central a partir del año 2025. La primera central iniciaría sus operaciones en el año 2025, mientras que la segunda lo haría en el año 2028. Se realizan sensibilidades tanto del tamaño de las centrales como de las fechas de entrada.

Manteniendo la visión de expansión del sistema invariante, adicionalmente, se estudió el efecto de un retraso de tres años en la puesta en marcha de las ambas centrales nucleares, evaluando así los efectos de su retraso sobre las variables antes mencionadas.

Los análisis desarrollados cubren un horizonte de 20 años.

8.1 Costo de desarrollo de una central nuclear

El costo total por MWh generado, costo de desarrollo, se determina descontando y anualizando el pago de los costos de inversión, operación y mantenimiento durante todo el periodo de estudio, dividido por la energía anual generada. De esta forma, el costo unitario de generación es calculado como un costo promedio durante la vida útil del generador.

$$CD = \frac{AVI + COMA}{Q}$$

En donde:

CD : Costo de Desarrollo.

AVI : Anualidad del valor de inversión.

COMA: Costo de Operación, Mantención y Administración.

Q : Energía anual generada.

En esta medida, el costo de desarrollo determina el nivel de remuneración conjunto de energía y potencia (precio monómico), necesario para cubrir el costos una central, independiente de su tecnología.

En la Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 se presentan los parámetros utilizados para la obtención del costo de desarrollo de una central nuclear de 1.100 MW. Se ha asumido un costo de inversión de 5.500 US$/kW-instalado; un costo variable total de 20 US$/MWh, el que no incluye el costo que involucra el manejo de desechos y desmantelamiento; una vida útil de 40 años; una tasa de descuento nominal equivalente al 9,3%; y un factor de planta de 85%.

Respecto a las consideraciones de transmisión, se utiliza un costo de conexión adicional de US$510.000[81], mientras que desde el punto de vista operacional, se consideró un valor de 1,9 US$/MWh por concepto de peajes por uso del sistema de transmisión troncal.

Con los parámetros citados anteriormente, el precio monómico de energía que rentabiliza la construcción de la central es del orden de 96 US$/MWh. Descontando los ingresos producto del reconocimiento de potencia firme, se obtiene que el precio de largo plazo, sólo en su componente de energía, que permitiría el desarrollo de la central es del orden de 87 US$/MWh (Figura 13).

Tabla 10: Determinación del Costo de Desarrollo de una Central Nuclear

ITEM	UNIT	CC Systep
Capacidad Instalada	MW	1100
Consumos Propios	%	7,0%
Capacidad Neta	MW	1023
Costo Unitario	US$/kW-instalado	5.500
Costo de Inversión	kUS$	6.050.000
Costo de Inversión del Sistema de Transmisión	kUS$	510.000
Costo Total de Inversión	kUS$	6.560.000
Vida Útil	años	40
WACC nominal	%	9,30%
WACC real	%	6,63%
Anualidad de la Inversión	kUS$	471.294
Tasa de salida forzada	%	5%
Mantenimiento	días / año	30,00
Disponibilidad		0,87
Factor de Planta Esperado	%	0,85
Producción de Energía	GWh	7.236
Costo Variable Combustible	US$/MWh	10,00
Costo Variable No Combustible	US$/MWh	10,00
Fondo Desmantelamiento y Manejo de Residuos	US$/MWh	0,00
Costo de Operación	US$/MWh	20,00
Costo de Combustible Anual	kUS$	72.364
Costo No Combustible Anual	kUS$	72364
Costo Anual Manejo de Desechos y Desmantelamie	kUS$	0
Costo de Transmisión (Peaje)	kUS$	13.604
Ingresos Totales Requeridos	kUS$	692.567
Ingresos Requeridos por Ventas de Energía	kUS$	628.118
Precio de Energía de Largo Plazo	**US$/MWh**	**86,80**

[81] Valor obtenido tomando como referencia un costo de US$850.000 por kilómetro, en función de la licitación de la línea Ancoa-Alto Jahuel 500 kV en el SIC, considerando 3 circuitos y un largo de línea de 200 km.

Tabla 11: Determinación del Costo de Desarrollo de una Central Nuclear (Continuación)

Factor de Planta	%	0,85
Energía Anual Producida	MWh/año	7.236.395
Costo Variable Combustible	US$/MWh	10,0
Costo Variable No Combustible	US$/MWh	10,0
Costo de Transmisión (Peaje)	US$/MWh	1,88
Costo de Capital	US$/MWh	65,1
Impuestos	US$/MWh	8,7
Precio monómico de energía de largo plazo	**US$/MWh**	**95,71**
Precio de Potencia Variabilizado	**US$/MWh**	**8,91**
Precio de Largo plazo de la Energía	**US$/MWh**	**86,80**

Tabla 12: Determinación del Costo de Desarrollo de una Central Nuclear (Continuación)

Precio de Potencia	US$/kW-mes	7,5
Factor de Reconocimiento de Potencia Firme	o/1	0,70
Potenci Firme Reconocida	MW	716
Ingresos Anuales por Potencia	kUS$	64.449

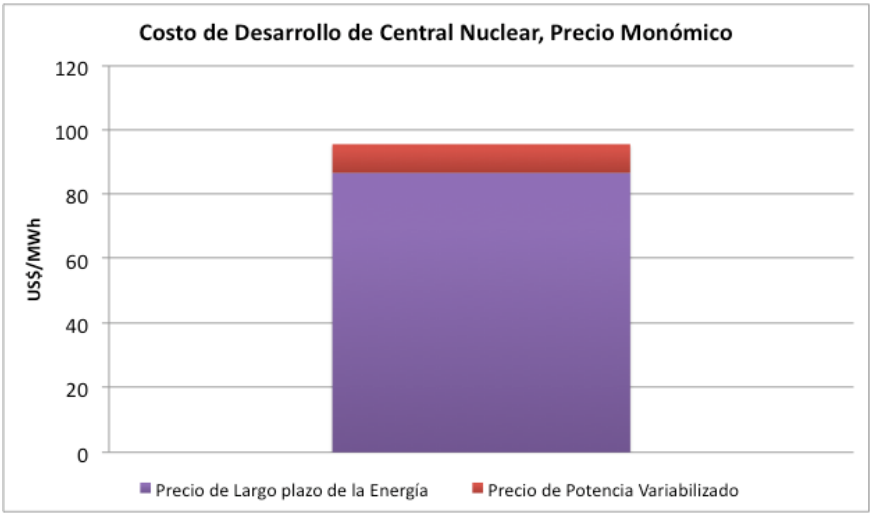


Figura 13: Costo de desarrollo de una central nuclear, descomposición en precio de energía y potencia

El costo de desarrollo se descompone en el costo de capital, costo variable combustible, costo variable no combustible, peajes de transmisión e impuestos de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 14 y Figura 15.

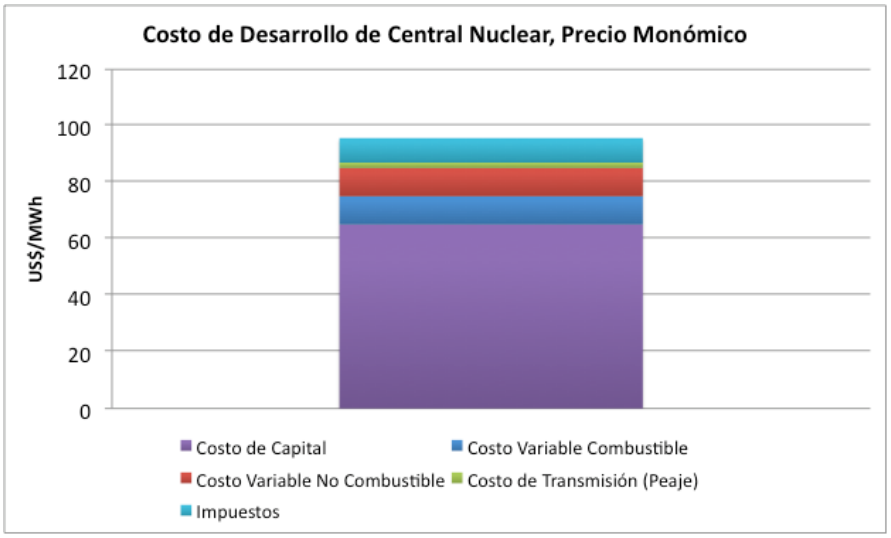


Figura 14: Descomposición del costo de desarrollo de una central nuclear

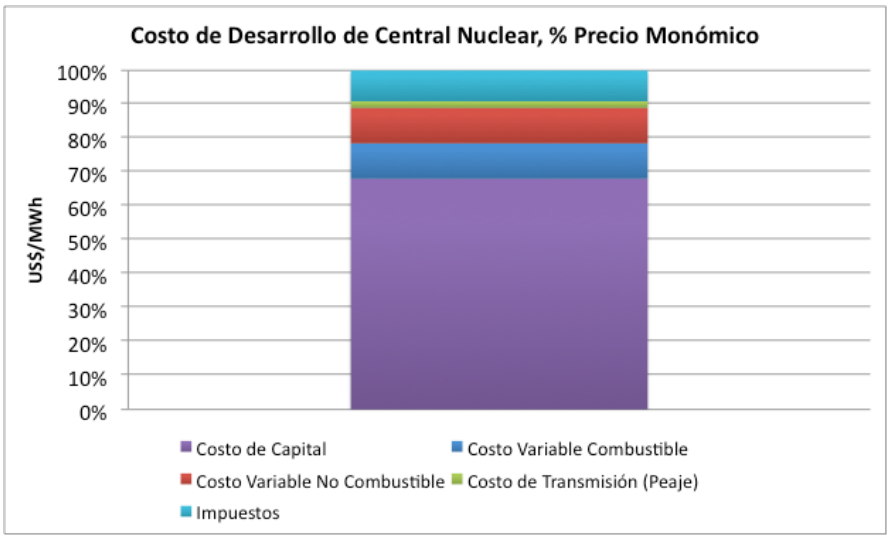


Figura 15: Descomposición del costo de desarrollo de una central nuclear (porcentaje)

Se realizó un análisis de sensibilidad del costo de desarrollo para estudiar el impacto de tres parámetros de manera independiente: Valor de Inversión, Tasa de Descuento (WACC) y el impacto de la aplicación de un recargo que refleje la aplicación de un fondo de desmantelamiento y manejo de residuos. La evaluación de cada uno de estos casos implica la modificación de manera independiente de uno de estos parámetros, de manera que cuando uno de ellos es modificado, los otros se mantienen constantes, igual al utilizado en el caso base (Tabla 13).

Tabla 13: Análisis de sensibilidad del costo de desarrollo de una central nuclear (parámetros)

		Caso Base	Caso Optimista	Caso Pesimista
Inversión	US$/kW-instalado	5500	4000	8000
WACC	% nominal	9,30%	8,00%	10,60%
Fondo Desmantelamiento y Manejo de Residuos	US$/MWh	0,00	6,00	12,00

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 16; es posible observar que tanto el costo de inversión como la tasa de descuento exigida al proyecto tienen un alto impacto en la definición de sus costos. La cuantificación del efecto de incluir un recargo que haga reconocimiento del costo de desmantelamiento y manejo de desechos es directo, es decir, el costo de desarrollo se incrementa en la misma magnitud que el recargo aplicado; sin embargo, este efecto podría ser considerablemente distinto si se obliga al inversionista a contar con estos fondos al momento de iniciar el proyecto, incorporándolos dentro de sus costos de inversión.

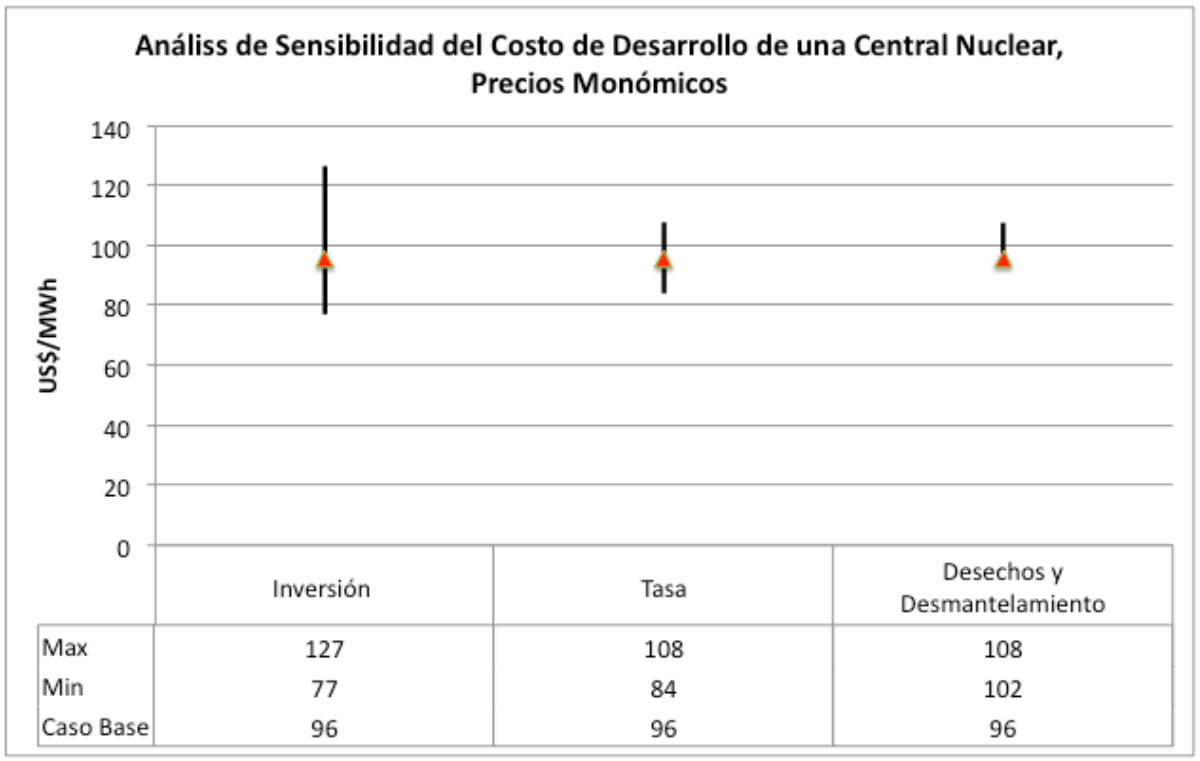


Figura 16: Análisis de sensibilidad del costo de desarrollo

Como se verá más adelante (Sección 8.3.2), el desafío de un proyecto de esta naturaleza está dado principalmente por la posibilidad de lograr contratos que permitan viabilizar el proyecto. Esto no sólo desde el punto de vista temporal, relacionado con el momento en que estos deben ser suscritos (de manera de poder acceder al financiamiento), sino también desde el punto de vista del precio, ya que el desarrollo de una central nuclear con los parámetros considerados es más alto que el desarrollo de una central a carbón (donde precio de la componente de energía es del orden de 70 US$/MWh).

8.2 Supuestos de la simulación

En esta sección se describen los supuestos utilizados para realizar el estudio de la evolución estimada del Sistema Interconectado Central hasta el año 2030, y los efectos del desarrollo de un programa nuclear que incluye la construcción de dos centrales de 1100 MW cada una a partir del año 2025.

8.2.1 Supuestos de precios de combustibles

El precio de los combustibles utilizados por las centrales térmicas (principalmente carbón, GNL y diesel) define parte importante de los precios de la energía en el mercado eléctrico, así como también los costos totales de generación del sistema eléctrico. Éstos, al determinar los costos variables de generación de las centrales eléctricas, establecen el orden en que las centrales serán despachadas en función de la demanda de energía.

La Tabla 14 presenta los precios de combustibles utilizados en el análisis. La definición de estos precios fue realizada por la CNE, utilizando como fuentes de información el Informe de Precio de Nudo de Abril 2009, Purvin & Gertz y World Energy Outlook 2009.

Se definieron los precios de todas las centrales térmicas del SIC. En el caso de las centrales de carbón, el precio de la Tabla 14 corresponde al precio de carbón en Chile, por lo que sólo basta agregar o descontar diferencias respecto a este valor de referencia.

Respecto al precio del Petróleo, dado que se trata de una referencia internacional, se consideraron los costos de refinación, transporte, internación entre otros, para traducir este valor a precio de diesel puesto en centrales.

Finalmente, el precio de referencia para GNL, corresponde al utilizado las centrales que hoy utilizan este tipo de combustible y que son partícipes del proyecto de GNL Quinteros.

Tabla 14: Supuestos de precios de combustibles.

	Carbón (Chile)	Petróleo (Internacional)	GNL (Chile)
	US$/TON	US$/BBL	US$/MMBTU
2009	100.8	56.3	9.5
2010	98.8	64.8	10.5
2011	99.5	65.6	10.5
2012	106.8	72.0	9.3
2013	108.9	73.2	7.2
2014	112.9	74.3	7.8
2015	115.4	75.1	8.3
2016	116.9	76.2	8.7
2017	118.8	77.7	9.1
2018	120.2	79.2	9.5
2019	122.0	80.9	9.8
2020	125.3	82.6	10.2
2021	128.7	84.5	10.7
2022	132.2	86.5	11.2
2023	135.8	88.4	11.7
2024	139.2	90.3	12.2
2025	142.4	92.1	12.6
2026	143.0	93.3	12.8
2027	143.6	94.6	13.0
2028	144.3	95.9	13.1
2029	144.9	97.2	13.3
2030	145.5	98.5	13.5

Notas:

Fuente entre 2009 - 2019 precio nudo abril 2009

Fuente entre 2020 - 2025 purvin & gertz

Fuente entre 2025 - 2035 WEO2009

Precios constantes.

8.2.2 Supuestos de demanda

Se procedió a determinar la correlación existente entre el consumo de energía en el SIC y la evolución del PIB del país. De esta forma, para el periodo comprendido entre los años 2010 y 2011, se consideraron diferentes proyecciones de tasa de crecimiento del PIB, para luego entre los años 2012 y 2019, utilizar una tasa equivalente a un promedio histórico de crecimiento[82].

A partir del año 2020 se consideró una disminución de la tasa de crecimiento, pasando desde aproximadamente un 5%, a una tasa de crecimiento de 4% del consumo de energía, favorecido por un aumento en la eficiencia en la utilización de la energía.

[82] Tasa promedio de crecimiento del PIB entre los años 2000 y 2008.

Tabla 15: Supuesto de consumo de energía en el SIC.

Año	Consumo de Energía [GWh]	Tasa de crecimiento
2010	41088	3.7%
2011	42860	4.3%
2012	45071	5.2%
2013	47375	5.1%
2014	49776	5.1%
2015	52278	5.0%
2016	54892	5.0%
2017	57637	5.0%
2018	60519	5.0%
2019	63545	5.0%
2020	66086	4.0%
2021	68730	4.0%
2022	71479	4.0%
2023	74338	4.0%
2024	77312	4.0%
2025	80404	4.0%
2026	83620	4.0%
2027	86965	4.0%
2028	90444	4.0%
2029	94062	4.0%
2030	97824	4.0%

8.2.3 Disponibilidad de GNL

La disponibilidad de GNL considerada en la simulación se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Disponibilidad de GNL.

Tipo de Consumo		GNL MM m3/día
Generacion		
	Quintero 1 y 2	1.62
	San Isidro II	1.13
Distribución		
	Metrogas	2
Capacidad Total		**4.75**

8.2.4 Supuestos de emisiones de CO_2 por tecnología

Para determinar el impacto de una central nuclear sobre las emisiones de CO_2 del sistema, resulta necesario considerar los diferentes factores de emisiones asociados a las distintas tecnologías utilizadas en el SIC. Estos supuestos se resumen en la Tabla 17.

Tabla 17: Emisiones de CO_2 por tecnología.

Tecnología	Ton CO_2/MWh
Biomasa	0
Eólica	0
Geotérmica	0
Hidráulica	0
Diesel	0.82
Diesel CA	0.82
Diesel CC	0.55
Diesel FA	0.82
GNL CA	0.6
GNL CC	0.4
Carbón	0.87
Nuclear	0

Para la construcción de los factores, se utilizó la información obtenida desde la página de la EIA[83], junto al rendimiento de las unidades generadoras.

Cabe notar que se consideró que las centrales de carbón futuras presentan similares características en lo referente a las emisiones de CO_2 que las centrales actuales. Este factor si bien no incorpora la mayor eficiencia ambiental que sistemas de captura y secuestro de CO_2 podrían aportar a dichas plantas; también hace abstracción del efecto que la incorporación de esas tecnologías trae aparejado en la disminución en la eficiencia, la que puede alcanzar hasta un 30%.

8.2.5 Supuestos de costos de inversión unitarios por tecnología

Los costos de inversión considerados para cada tecnología se resumen en la Tabla 18; éstos fueron informados por la CNE.

[83] http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html

Tabla 18: Costos de inversión unitarios por tecnología.

Tecnologia	Costos Inversión US$/KW
Hidrica convencional	2000
Hidrica ERNC	2200
Carbon	2300
GNL	700
Eolica	1800
Geotermica	3550
Biomasa	1800
Diesel	450
Nuclear	3500

8.3 Resultados de la simulación

Considerando los supuestos descritos anteriormente, se procedió a simular la operación del sistema con el modelo OSE2000, incluyendo las centrales nucleares como tecnologías viables para operar en el SIC.

De esta forma, a continuación se analizan ciertos aspectos que derivan de los resultados obtenidos.

8.3.1 Plan de obras en generación

El plan de obras en generación, fue construido utilizando diferentes tecnologías disponibles, tendiendo a mantener aproximadamente la proporción que cada tecnología tiene respecto a la situación actual, pero considerando un mayor desarrollo de las tecnologías ERNC (hasta 10% en el año 2024 de acuerdo a lo establecido en la Ley 20257), y por supuesto el desarrollo de la alternativa nuclear.

En la construcción del plan de obras en generación, se ha asumido que las inversiones en las unidades generadoras se viabilizan debido a la existencia de contratos de suministro, lo que sumado a la venta de excedentes a costo marginal, permiten que las centrales puedan cubrir sus costos de inversión, operación y las rentabilidades requeridas por los inversionistas.

De esta forma, el plan de inversión por tecnología se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19: Plan de inversión a 20 años (MW instalados anualmente por tecnología).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Pasada	145	167	280		591	275									220	80		250	260	270		2538
Embalse			150				660	500		770		460	360									2900
Eólica	80	120	100	140								326	326			326	130	130	130		326	2135
Biomasa	47	17										10	50	10		10		20	20			184
Geotérmica						65		65	25			80	40	80		80	40		40	40		555
Nuclear																1100			1100			2200
Carbón	1064	242			468					250		100	110					130	140	140	160	2804
Dual												110	120			120	140	140	150	160	160	1100
GNL																						0
Diesel												80	80	80		80		90	100	100	110	720
	1336	546	530	140	1059	340	660	565	25	1020	0	1166	1086	170	220	1796	310	760	1940	710	756	

La relación entre parque de generación proyectado y la demanda máxima se presenta en la siguiente figura, es posible observar que para el caso de un año hidrológico promedio existe reserva de unidades térmicas duales y diesel que mantienen la suficiencia del sistema.

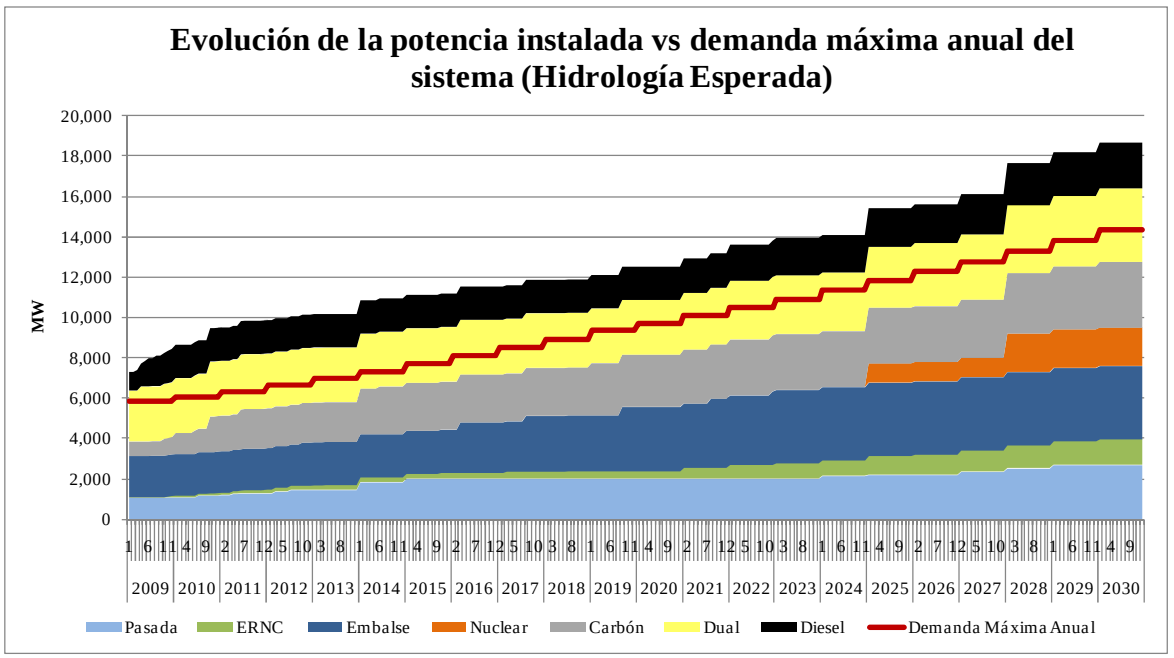


Figura 17: Evolución de la matriz de generación y demanda máxima proyectada

Como se puede observar, el plan de obras en generación considera la instalación de dos centrales nucleares de 1100 MW. La primera de ellas inicia sus operaciones en el año 2025, mientras que la segunda lo hace en el año 2028.

En la Figura 18 se muestra la distribución de la capacidad instalada en el horizonte de simulación según las diferentes tecnologías consideradas.

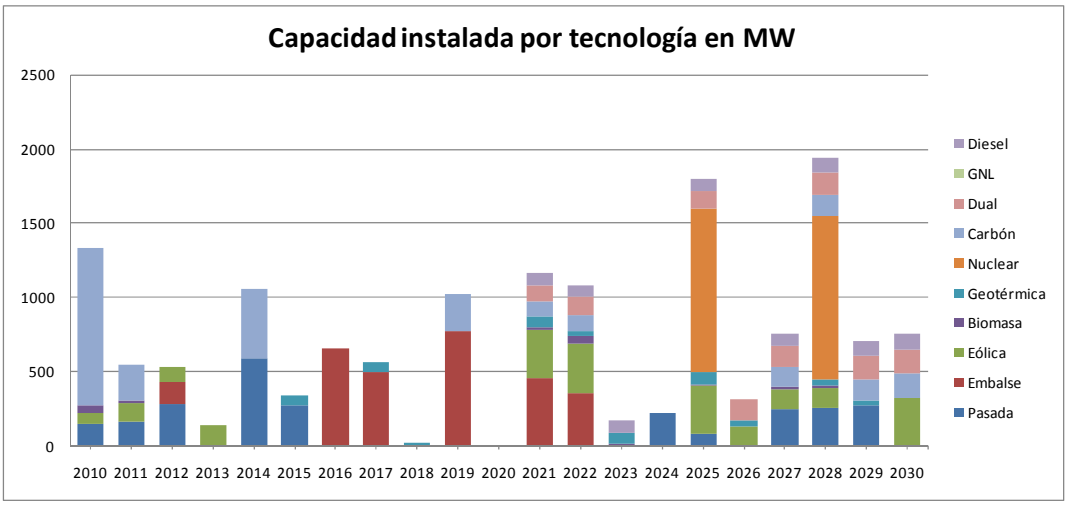


Figura 18: Plan de inversión a 20 años.

Los años previos a la incorporación de la central nuclear, aparte de las centrales ERNC que por Ley deberían desarrollarse y del proyecto HidroAysén, no se pronostica la instalación de un gran número de centrales; pues el desarrollo de un programa nuclear y la baja en los costos marginales que ello implica (ver siguiente sección) podría desincentivar inversiones en tecnologías costosas como el carbón. De acuerdo a los análisis desarrollados, el desarrollo de centrales hidroeléctricas y a gas (esta última con un costo de inversión equivalente al 30% del costo de inversión de una central a carbón) podría ser la alternativa que los inversionistas perciban como de menor riesgo para cubrir la demanda.

Un aspecto importante a destacar, es que el plan de obras simulado no considera el desarrollo completo del potencial hidroeléctrico de la región de Aysén, sólo se incorporó las plantas proyectadas por HidroAysén.

8.3.2 Efecto en costos marginales

Los costos marginales resultantes en la barra Quillota 220 kV se muestran en la Figura 19.

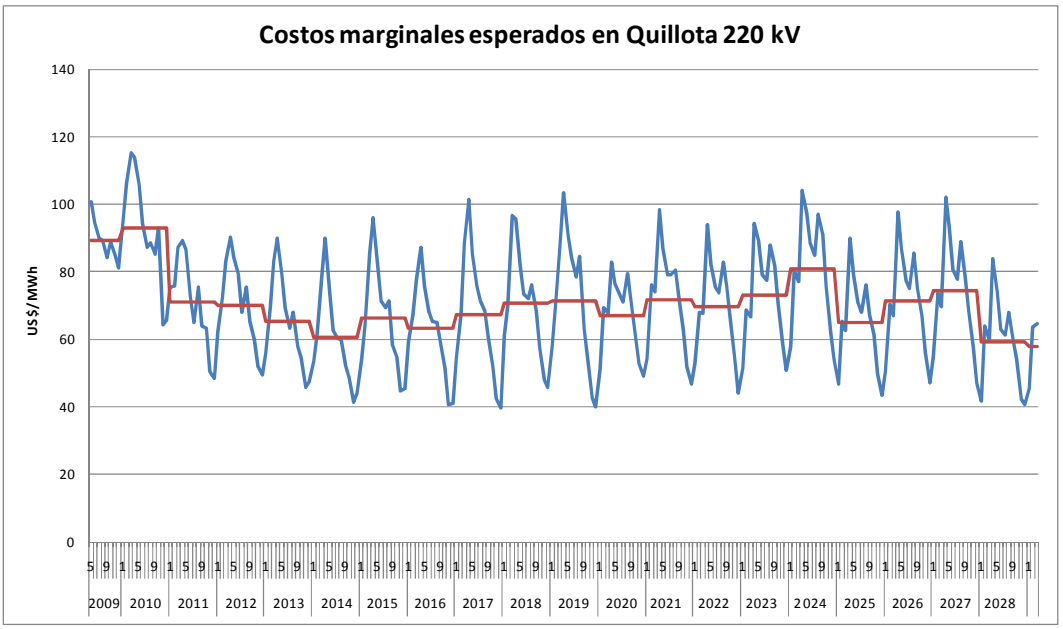


Figura 19: Costos marginales promedio en la barra Quillota 220 kV.

Se estima que, en el año 2025, cuando la primera central nuclear inicia sus operaciones, se produce un fuerte impacto en los costos marginales del sistema, disminuyendo aproximadamente 15 US$/MWh en promedio. En el año 2028, cuando la segunda central nuclear comienza a operar, nuevamente se reducen los costos marginales promedios del sistema, de forma similar al efecto de la primera central.

Los costos marginales proyectados no harían factible por si solos la operación comercial de una central nuclear; pues el promedio de largo plazo está en el rango de 60 a 70 US$/MWh mientras que el costo de desarrollo de dichas centrales superaría los 85 US$/MWh (ver sección 8.1). En este sentido, desde el punto de vista comercial el desarrollador del proyecto debería generar los instrumentos para asegurar contratos por parte importante de la capacidad de generación del proyecto; este aspecto surge como uno de los más relevantes que de todas formas condicionará el desarrollo de esta alternativa. En este contexto, un escenario donde la generación térmica mediante combustibles fósiles (carbón y GNL) se hace más costosa parece ser la única alternativa de viabilizar un proyecto de esta naturaleza.

Es importante mencionar que las centrales nucleares fueron modeladas, de acuerdo a información proporcionada por la CNE, con un costo variable de operación de 20 US$/MWh. Este costo variable, resulta ser menor que las centrales de carbón convencionales, así como también menor a las centrales de ciclo combinado. De esta forma, en la medida que los costos variables de operación se mantengan competitivos frente a otras tecnologías, las centrales nucleares no deberían enfrentar problemas para ser despachadas en base. Para que este último aspecto se pueda garantizar, el sistema de transmisión deberá tener o desarrollar las holguras suficientes que permitan la operación segura y continua, independiente de la condición hidrológica de un período o de las futuras centrales que puedan desarrollarse dentro del área de influencia de la central nuclear.

Adicionalmente, es importante destacar que desde el punto de vista de la operación del sistema, cualquier efecto de congestión en el sistema de transmisión debería hacer prevalecer en primer lugar las condiciones de seguridad en la operación de la central nuclear por sobre las condiciones económicas; hecho que está considerado en la legislación vigente.

8.3.3 Análisis del despacho de las centrales nucleares.

El factor de planta esperado por cada bloque, para las centrales nucleares, se muestra en la Figura 20.

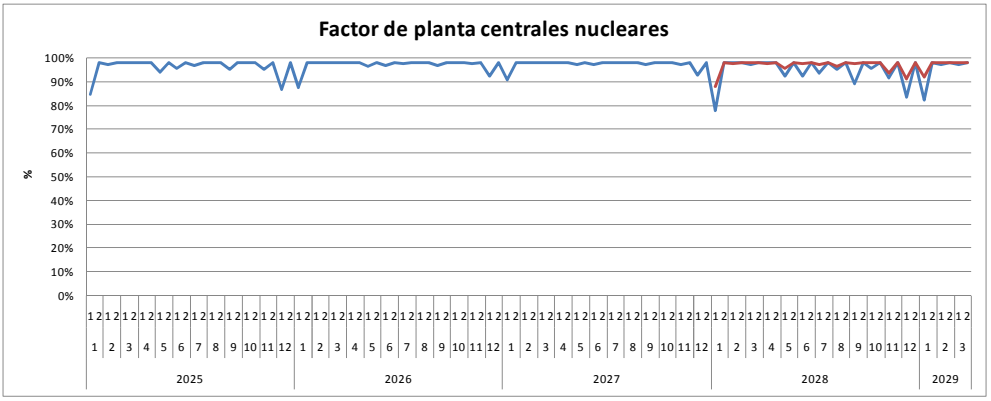


Figura 20: Factor de planta de centrales nucleares.

De la figura anterior, se observa que ambas centrales presentan altos factores de planta, producto de sus bajos costos variables de operación, que facilita que sean despachadas por criterios económicos bajo un amplio rango de condiciones de operación.

Cabe notar que si bien las centrales nucleares son despachadas la mayor parte de las horas, podrían existir algunos periodos de tiempo donde éstas no deberían estar despachadas por orden económico (dependiendo de la hidrología y del punto de conexión de la central). Sin embargo, dadas las limitaciones para la operación segura de una central nuclear, esta central no podría ser detenida durante este periodo de tiempo.

En el caso particular de eventuales congestiones en el sistema de transmisión, la aplicación de criterios de seguridad en la operación de los sistemas eléctricos, en particular, lo atingente a la explotación de ciertos tramos del sistema de transmisión, considerando las restricciones de la capacidad de transporte producidas por la operación en condiciones de N-1; ha obligado a los operadores del sistema a optar por distintas alternativas de solución:

1. Despacho de unidades fuera del óptimo de operación.
2. Implementar esquemas de desprendimiento automático de carga.
3. Demandar nuevas inversiones en transmisión.

La primera alternativa, operación de centrales fuera de óptimo económico, de implementación inmediata en caso de existir centrales nucleares, si bien permite continuar abasteciendo toda la demanda de manera segura, puede implicar sobrecostos transitorios que, de acuerdo a la legislación eléctrica chilena, en particular, respecto a lo determinado por el

Panel de Expertos en sus discrepancias N° 3 y N° 18 del 2008, deben ser cubiertos por todos aquellos agentes que han sido beneficiados por la operación segura del sistema eléctrico al que están circunscritos.

8.3.4 Emisiones de CO_2.

Tomando como referencia el nivel de emisiones (CO_2) por tecnología de generación expuesto en la Tabla 17: Emisiones de CO_2 por tecnología., se procedió a estimar las estimaciones totales de CO_2 que se producirían producto de la operación del parque de generación propuesto; la Figura 21 presenta la estimación de emisiones (toneladas de CO_2/año) en el horizonte de simulación.

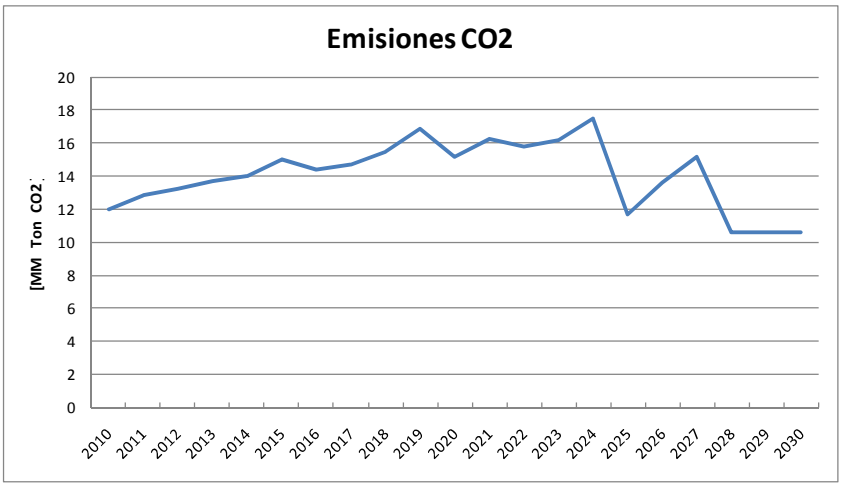


Figura 21: Emisiones anuales de CO_2.

De la figura anterior, cabe destacar la importante disminución de las emisiones de CO_2 en el año 2025, producto del ingreso a operación de la primera central nuclear, que desplaza generación en base a otras tecnologías más contaminantes (GNL y Carbón). Lo anterior se verifica nuevamente en el año 2028, cuando ingresa al sistema la segunda central.

De las emisiones por CO_2 es importante destacar que alrededor de un 90% proviene de la generación en base a carbón, mientras que alrededor de un 60% de las emisiones de CO_2 generados por la utilización de carbón corresponde a centrales que actualmente no se encuentran en operación, por lo que el impacto que podría tener la utilización de tecnologías de captura y secuestro de CO_2 en dichas centrales podría reducir significativamente la contribución que el desarrollo de un programa nuclear tendría en esta materia, toda vez que dichas tecnologías sean más competitivas.

8.4 Sensibilidad: Retraso en la fecha de ingreso de proyecto nuclear

Una de las sensibilidades realizadas al caso base, consideró el posible retraso en la puesta en marcha de la central nuclear. Adicionalmente, se supuso que el sistema no alcanzaría a reaccionar ante este retraso, es decir, el plan de obras se mantendría invariante. De esta forma, se simuló un retraso de 3 años en la puesta en marcha de las centrales nucleares, sin

modificar el plan de inversiones en el resto de las centrales generadoras consideradas en el horizonte de simulación.

8.4.1 Comparación de costos marginales.

En la Figura 22, se muestra la comparación de los costos marginales anuales esperados en la barra Quillota 220 kV para el caso con y sin retraso de las centrales nucleares.

Figura 22: Comparación de costos marginales con y sin retraso de las centrales nucleares.

Como se puede observar, el retraso de las centrales nucleares tiene un importante efecto en los costos marginales del sistema; debiendo hacer un uso más intensivo de centrales con mayores costos variables de operación.

En la figura se observa que en el año 2025, la diferencia alcanza aproximadamente a 20 US$/MWh, y los costos marginales esperados en el año 2027 (antes del inicio de las operaciones de la central nuclear con retraso) alcanzan los 100 US$/MWh en promedio. En el año 2028, año en que comienza a operar la primera central nuclear, se puede observar la fuerte disminución de los costos marginales producto de la entrada a operación de la central.

8.4.2 Comparación de emisiones de CO_2.

La Figura 23 muestra la comparación de las emisiones estimadas ante el retraso de las centrales nucleares.

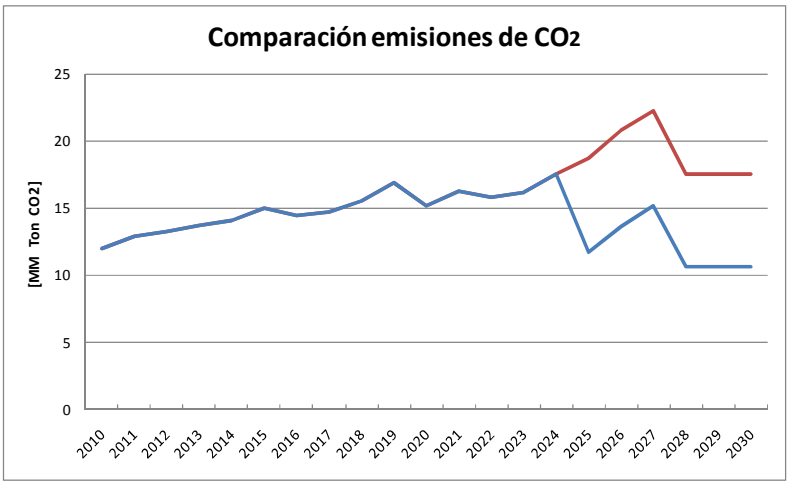


Figura 23: Comparación emisiones de CO2 caso con y sin retraso.

De la figura anterior, se puede observar que al producirse un retraso de la central nuclear las emisiones continúan aumentando de manera significativa. Cabe destacar, que en el año 2025, las emisiones en el escenario con retraso son un 60% mayor que en el caso base.

8.5 Sensibilidad: Centrales nucleares con capacidad 800 MW

En la presente sección, se mostrarán los resultados de la simulación de la operación del Sistema Interconectado Central, considerando la instalación de centrales nucleares de 800 MW en lugar de 1100 MW. Al igual que en el caso base, dichas centrales fueron incorporadas a partir el año 2025 y 2028.

8.5.1 Comparación de costos marginales.

La Figura 24 muestra los costos marginales resultantes de la situación base y su sensibilidad al tamaño de las unidades nucleares.

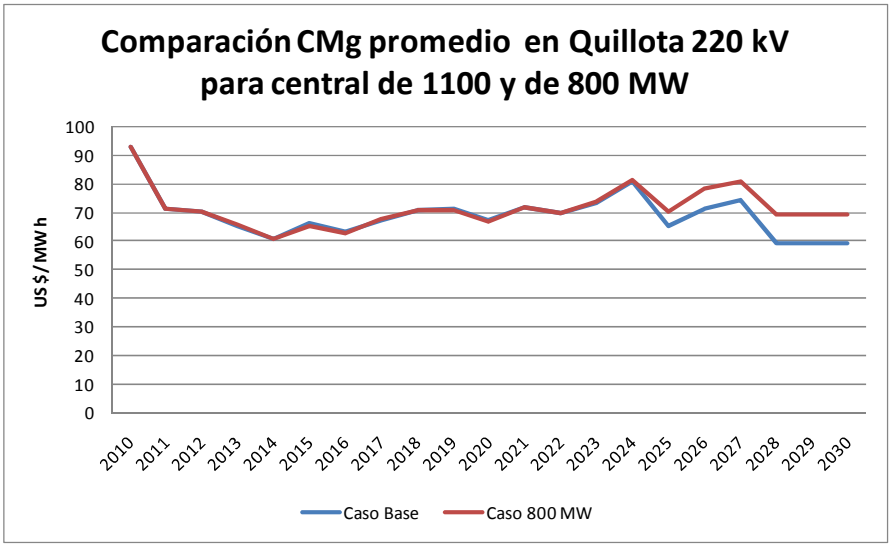


Figura 24: Comparación de costos marginales -sensibilidad de capacidad.

Como se puede observar en la figura anterior, la disminución en el tamaño de la unidad nuclear determina que el efecto de las centrales nucleares sobre los costos marginales sea menor que en la situación base. Luego de la instalación de las dos unidades, la diferencia entre los costos marginales promedios de la situación base y de la sensibilidad, alcanzan los 10 US$/MWh (alrededor de un 15% de aumento). En este sentido, asumiendo que el desarrollo de ambos tamaños de unidades tiene el mismo costo de inversión unitario, la instalación de centrales más pequeñas tiene una ventaja comercial importante para los inversionistas.

8.5.2 Comparación de emisiones de CO_2.

La Figura 25 muestra la comparación de las emisiones del caso base, versus la sensibilidad al tamaño de las centrales nucleares.

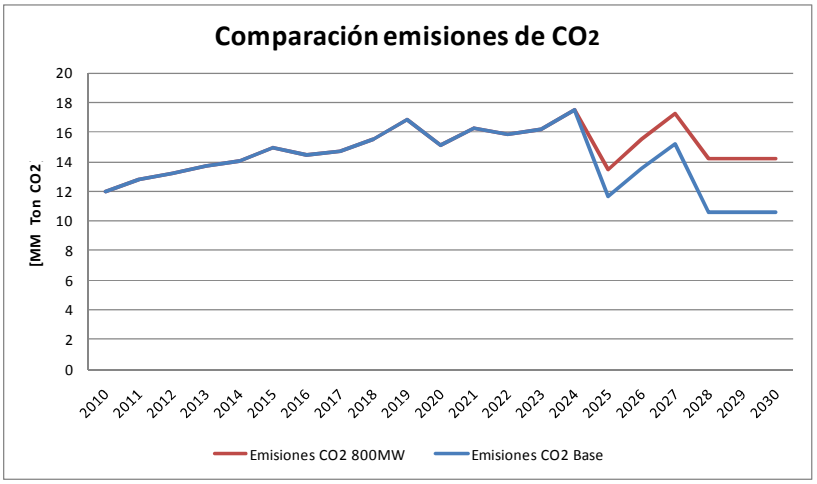


Figura 25: Comparación costos marginales caso base versus sensibilidad 800 MW.

Al igual que en el caso de los costos marginales, la disminución del tamaño de las unidades implica que el impacto de las centrales nucleares sobre las emisiones totales de CO_2, sea menor que en el caso base. Hacia el fin del periodo de simulación, la diferencia alcanza aproximadamente a 3,5 MM Ton CO2 (equivalente a un aumento en las emisiones de aproximadamente 34%).

8.6 Interconexión de sistemas eléctricos

Dentro de las posibles limitaciones a la construcción de una central nuclear en el país, se encuentra el efecto sobre los requerimientos para la operación segura de las instalaciones en el SIC. Una de las medidas requeridas para preservar la seguridad es el establecimiento de reservas de generación. En este contexto, cabe destacar que una central nuclear con un tamaño de 1100 MW es una central que requiere de una importante cantidad de reserva en el sistema en caso que esta unidad falle.

En el año que se realiza la conexión de la primera central (2025) la central nuclear representaría cerca de un 10% de la generación total del sistema. Lo anterior implica que el sistema interconectado central debería contar con una capacidad equivalente de respaldo ante la salida intempestiva de esta central.

Este efecto sobre la seguridad del sistema, podría verse reducido en caso que se realizara la interconexión del SIC y del SING, puesto que disminuiría la participación porcentual de la central nuclear en la generación total del sistema, disminuyendo por lo tanto los posibles efectos sobre la seguridad del sistema. Sin embargo, es importante notar que la interconexión de los sistemas eléctricos debe ser evaluada desde un punto de vista económico, independiente de la incorporación de centrales nucleares en Chile.

Adicionalmente, la posible interconexión de ambos sistemas aumentaría el tamaño del mercado para acceder a contratos de suministro.

I. ANEXO: ASPECTOS REGULATORIOS QUE RIGEN LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

A continuación se revisan los principales aspectos regulatorios y reglamentarios que rigen la operación de los sistemas eléctricos, en particular, las políticas de despacho que realiza el CDEC; que podrían ser atingentes a la operación de una central nuclear en el sistema eléctrico del país.

a.) DFL #4

El DFL #4 establece que la operación de los sistemas interconectados se rige por lo dispuesto en los artículos 118º, 119º y 121º. En este contexto, el artículo 118º indica que la operación de los sistemas eléctricos deberá ser coordinada en base a:

1. Preservar la seguridad de servicio,

2. Garantizar la operación más económica del conjunto de instalaciones;

Siendo aquellos aspectos de seguridad de la operación, basados en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Suministro, los que prevalecen sobre aquellos criterios de operación económica.

b.) DS 327

El Reglamento General de Servicios Eléctricos DS 327 indica en su artículo 166º que la operación de aquellas centrales y sistemas de transmisión que operen en sincronismo con un sistema eléctrico, deberá ceñirse a las normas y reglamentos de coordinación de la operación que se establezcan en conformidad con el reglamento.

En particular, y de acuerdo al artículo 172º del DS 327, el CDEC, con el objeto de coordinar la operación de las centrales generadoras y sistemas de transporte, deberá realizar, entre otras, las siguientes funciones:

- Planificar la operación de corto plazo del sistema eléctrico, considerando su situación actual y la esperada para el mediano y largo plazo, y comunicarla a quienes estén interconectados al sistema y deban operar sus instalaciones de acuerdo a los programas resultantes;
- Calcular los costos marginales instantáneos de energía eléctrica en todas las barras pertenecientes a los nudos del respectivo sistema eléctrico;
- Determinar y valorizar las transferencias de electricidad entre generadores, conforme se señala en los artículos 257 y siguientes;

Particularmente, la Dirección de Operaciones (DO) de cada CDEC, en función de lo establecido en el artículo 181º del DS 327, tiene las siguientes atribuciones:

- Proponer al Directorio las decisiones y procedimientos conducentes al cumplimiento de las disposiciones del presente reglamento y del reglamento interno, en las tareas propias de esta Dirección;

- Adoptar las decisiones que se requieran para la aplicación de las metodologías, modelos matemáticos, valores de parámetros, esquemas de medición u otras materias técnicas relativas a la operación del sistema;
- Efectuar la planificación de corto, mediano y largo plazo de la operación y la coordinación del mantenimiento mayor de las unidades generadoras y líneas de transporte del sistema eléctrico, y comunicarlas oportunamente al Centro de Despacho y Control.

Además, el artículo 184º indica que corresponderá al Centro de Despacho y Control (CDC), supervisar y coordinar en todo momento, el cumplimiento de los programas emanados de la Dirección de Operación, a fin de preservar la seguridad instantánea de suministro y los rangos de variación de frecuencia y de voltaje en los términos que establece este reglamento.

Para el cumplimiento de su cometido, el CDC deberá impartir a todos los sujetos obligados a la coordinación ejercida por el respectivo CDEC, las instrucciones necesarias para el cumplimiento de los programas definidos para la operación, requiriendo de los mismos, la información necesaria para la supervisión y coordinación que le corresponde efectuar.

Para llevar a cabo las anteriores tareas, el artículo 167º indica que dar cumplimiento de las funciones del CDEC, todo propietario, arrendatario, usufructuario o quien explote, a cualquier título, centrales generadoras, líneas de transporte o instalaciones de distribución que se interconecten al sistema, estará obligado a proporcionar la información necesaria y pertinente que el CDEC le solicite para mantener la seguridad global del sistema, optimizar la operación y garantizar el derecho de servidumbre. Adicionalmente, el retiro, modificación o desconexión de unidades generadoras y de instalaciones de transmisión, deberá ser comunicada por escrito tanto al CDEC respectivo como a la Comisión, con la anticipación que estipule el reglamento interno para estos efectos.

De forma adicional, el artículo 189º indica que la información relativa a estadísticas, características y estado del sistema eléctrico, tales como niveles en los embalses, stocks de combustible en centrales, topología y características del sistema de transporte, operatividad y rendimiento de las unidades generadoras, y otras de similar naturaleza, será proporcionada a la DO por las entidades interconectadas al respectivo sistema, en la oportunidad y bajo la modalidad que determine el reglamento interno.

c.) Reglamentos Internos del CDEC-SIC

En el reglamento interno del CDEC SIC, artículo 3, se indica que el CDEC será el encargado de emitir las instrucciones de coordinación para mantener la seguridad global de servicio en el SIC, a todas las empresas propietarias, usufructuarias o que exploten a cualquier título instalaciones de distribución.

Respecto a la información mínima que es requerida a los agentes participantes del sistema, en el artículo 65º se indica que la información básica necesaria para realizar la Planificación de la Operación, considera al menos:

- Tasa de descuento, la que no diferirá en más de dos puntos a la usada por la Comisión, en la última fijación tarifaria;

- Matrices de afluentes de centrales hidráulicas de pasada, modelo hidráulico, sus parámetros y otras características vigentes.
- Previsiones de consumos del SIC definidos de acuerdo al Manual de Procedimientos de Previsiones de Consumo del SIC;
- Las cotas iniciales, restricciones de operación, indisponibilidades y demás características de estas centrales vigentes, cuando corresponda;
- Caudales afluentes a las centrales hidráulicas de acuerdo a lo definido en el Manual de Procedimientos de Definición de Caudales a Utilizar para Planificar la Operación.
- En el caso de centrales térmicas, se necesita el consumo específico de combustible, el costo variable no combustible, indisponibilidades y demás características técnicas vigentes;
- El procedimiento a utilizar para la determinación de los precios de combustible, se indica en el Manual de Procedimiento para Informar los Costo de los Combustibles;
- El programa de mantenimiento mayor vigente;
- El valor del costo de falla informado por la Dirección de Operación.
- Plan de obras futuras igual al informado por la Comisión en la última fijación tarifaria.
- Topología y características del sistema de transporte.

Adicionalmente, el artículo 66º indica que en general la información indicada, como cualquier otra que se requiera para la planificación de la operación, deberá ser entregada por las empresas sujetas a la coordinación del CDEC-SIC en forma permanente y también a la simple solicitud del CDEC-SIC por intermedio de la DO.

En el caso de renuencia de alguna empresa a entregar información, la DO adoptará otras medidas para suplir la información faltante. Estas medidas que adopte la deberán ser debidamente justificadas y respaldadas técnicamente; y la situación será informada a la Superintendencia y a la Comisión.

Respecto a la coordinación de la operación en tiempo real del sistema, el manual de procedimientos de la DO que se refiere al Centro de Despacho y Control (CDC) definido en el artículo 184º del DS 327, indica que corresponderá al CDC supervisar y coordinar en todo momento el cumplimiento de los programas emanados de la DO. En el caso de incumplimiento de alguna instrucción emanada por el CDC, éste le comunicará dicha situación al Director de Operación del CDEC-SIC. No obstante lo anterior, cada empresa efectuará bajo su propia responsabilidad, la operación efectiva de las instalaciones de su propiedad o de aquéllas que explote bajo cualquier título o tenga la representación expresa del propietario ante el CDEC-SIC.

Para dar cumplimiento de sus funciones el CDC deberá utilizar, de acuerdo al artículo 9º, la información de las características técnicas de las instalaciones de las empresas sujetas a coordinación y que haya sido entregada oficialmente a la Dirección de Operación o Dirección de Peajes. No obstante lo anterior, y de acuerdo a lo indicado en el artículo 7º, será responsabilidad de las empresas coordinadas mantener debidamente informado al CDC de las restricciones operacionales o problemas que se presenten en sus sistemas y que puedan

afectar sus instalaciones o la seguridad del sistema eléctrico, de modo que éste pueda ejercer las medidas correctivas oportunamente. Cualquier limitación no incluida en la programación de la operación que afecte a una unidad generadora, línea de transporte, subestación o equipos, perteneciente al sistema eléctrico sujeto a la coordinación del CDEC-SIC, deberá ser comunicada al CDC por el CC correspondiente a la instalación afectada.

Respecto de la declaración de los precios de combustibles a utilizar en la operación del SING, el manual de procedimientos Nº 16 establece el procedimiento para informar el precio de los combustibles. En particular, el artículo 13 establece que dichos precios deberán estar debidamente respaldados mediante un informe justificativo realizado por la empresa, y deberán de ser actualizados periódicamente, de acuerdo al tipo de combustible utilizado.

En el caso que se presenten discrepancias en el estudio presentado, el título VII de dicho manual, indica que cualquiera de las empresas integrantes podrá solicitar la intervención de un Ministro de Fe para verificar que el precio del combustible que informa una empresa se ajusta a las normas establecidas en la legislación vigente y en el presente manual. Se designará como Ministro de Fe al Director de Operación, y el proceso de verificación a realizar consistirá en una sesión de trabajo en oficinas de la empresa que informó el precio de su combustible, en la que se mostrará bajo estricta confidencialidad, sin dejar respaldo escrito, toda la información necesaria para construir el precio informado y la estructura de costos señalada.

De manera complementaria, el título IX del manual de procedimiento Nº 16 establece el mecanismo de control de stocks para informar la variación de stocks de los distintos combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica.

Finalmente, en los que respecta a los mantenimientos, el Manual Interno que rige el Programa de Mantenimiento Preventivo Mayor, en su artículo 1º, indica que la DO coordinará esta tarea con el fin de preservar la seguridad del servicio y garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del SIC. Para esto, las empresas sujetas a la coordinación del CDEC-SIC, deberán comunicar a la Dirección de Operación, antes del 1° de noviembre de cada año, la siguiente información:

a) Período de Mantenimiento Preventivo Mayor de las instalaciones sujetas a coordinación, propuesto para el año calendario siguiente.

b) Calificación del Mantenimiento Preventivo Mayor como postergable o impostergable, entendiéndose por postergable, todo aquel Mantenimiento que puede ser desplazado fuera del período de horas de punta del SIC.

c) Períodos alternativos para el Mantenimiento Preventivo Mayor propuesto o fechas entre las cuales podría realizarse.

d) Información adicional necesaria para evaluar las ventajas o desventajas de realizar el Mantenimiento en diferentes fechas.

II. ANEXO: PROGRAMAS DE ACEPTACIÓN PÚBLICA: EL CASO DE FRANCIA Y CANADÁ

Francia y el programa de aceptación estatal

El programa nuclear de Francia se inició en la década de 1970, en medio de la crisis del petróleo. Francia, no teniendo prácticamente fuentes primarias energéticas, tuvo la visión de futuro, concibiendo a la energía nuclear como una solución para reducir su dependencia de los combustibles fósiles. A partir de esa fecha, Francia desarrolló una industria nuclear, que hoy cubre cerca del 78% de su suministro eléctrico. A la vez, la energía nuclear muestra una gran aceptación pública a nivel nacional.

Este apoyo a favor a la energía nuclear ha sido solventado por un sólido programa de gobierno, basada en cinco aspectos principales[84]:

- Operación segura de las centrales.
- Beneficios económicos.
- Transparencia del desarrollo nuclear.
- Un programa de aceptación pública.
- Sentido de independencia energética.

El programa de aceptación pública cubre ámbitos tan diversos como la educación primaria, campañas de publicidad en televisión y campañas de visitas guiadas a plantas nucleares que han tenido más de 6 millones de visitas[85].

A nivel local, Francia también ha sido exitosa en el logro de la aceptación de plantas nucleares. Al respecto, las comunidades locales reconocen los trabajos y prosperidad que estas generan, mientras el gobierno impulsa la participación de las comunidades locales y la transparencia del funcionamiento de las centrales nucleares. En cada comunidad en donde se localizan centrales nucleares son creadas Comisiones de Información Local, cada comisión es dirigida por un representante electo por la población local y conformada por representantes de los medios locales, sindicatos y otras asociaciones. Estas comisiones reciben la información sobre la operación de las centrales nucleares y pueden requerir en cualquier momento información sobre cualquier tipo de accidente que pudiera ocurrir.

Canadá y su programa de comunicaciones impulsado por la industria nacional

En Canadá, la Canadian Nuclear Association (CNA), organización sin fines de lucro y netamente financiada por la industria nacional, ha desarrollado desde el año 2002 un programa de comunicaciones para promover los beneficios de la energía nuclear. El objetivo

[84] Lessons Learned? Selected Public Acceptance Case Studies Since Three Mile Island, http://www.world-nuclear.org/sym/2000/blee.htm

[85] Why French Like Nuclear energy?, http://www.pbs.org/wgbh/pages/frontline/shows/reaction/readings/french.html

del programa es mejorar el apoyo político a través de una mayor aceptación pública de la tecnología nuclear[86].

Antes del programa de comunicaciones impulsado por la CNA, el debate nuclear era un tema no mencionado frecuentemente por políticos, agentes del gobierno o los medios. Esto a pesar del intenso debate producido con el cambio climático y la contaminación atmosférica.

El programa consiste en múltiples medidas: encuestas y análisis de la opinión pública; investigación e información sobre la tecnología nuclear; circulación de comunicaciones mediante publicaciones, pagina web y correos electrónicos; relaciones con políticos, medios de comunicación, agentes de gobierno; conferencias anuales; otorgando auspicio en eventos; publicidad en diarios, radio y televisión; asistencia a conferencias y foros; incluso un programa educativo enfocado a alumnos y profesores de colegio.

La CNA actualmente continúa con el programa, reconociendo que el tema nuclear ha sido puesto en debate, y a la vez, después de 18 meses de su lanzamiento la aceptación pública de la energía nuclear llegó a su más alto nivel, con un 50% de apoyo a nivel nacional y con un 64% en Ontario.

[86] PUBLIC ACCEPTANCE AND COMMUNICATIONS PROGRAMME, Canadian Nuclear Association (2005)

III. ANEXO: ESQUEMAS DE LICENCIAS: EXPERIENCIA INTERNACIONAL

A continuación se presentan algunos casos internacionales de cómo han solucionado los aspectos anteriormente descritos[87].

El cambio de Estados Unidos hacia licencias integradas

Hasta el año 1992 Estados Unidos tenía un único sistema de otorgamiento de licencias administrado por la NRC y en el que intervienen otros organismos públicos. Este sistema consiste en la obtención de un permiso de construcción y otro de operación. La obtención de la licencia de construcción consiste en la revisión del sitio, diseño de la planta y planos de construcción. Después de aprobar las evaluaciones medioambientales y de seguridad se debe realizar una audiencia pública[88]. La obtención de la licencia de operación consiste en la revisión del diseño final de la planta, y de sus procedimientos operacionales y de emergencia, en este tipo de licencia la realización de una audiencia pública es opcional.

Sin embargo, la Energy Policy Act de 1992 especificó un nuevo proceso de otorgamiento de licencias, quedando también vigente el antiguo sistema de licencias, siendo opción del desarrollador del proyecto a qué tipo de licencia acceder. El nuevo sistema combina las licencias de construcción y de operación con el objetivo de agilizar y reducir la incertidumbre de los tiempos de los procesos. El sistema de licenciamiento combinado también considera dos procesos preliminares de carácter opcional, la Certificación de Diseño y el Permiso Temprano del Sitio. Estas etapas preliminares apuntan a hacer el proceso aún más ágil debido a que la participación pública queda concentrada en el proceso del Permiso Temprano del Sitio. Además, los eventuales retrasos causados por la intervención de la población son prevenidos con la especificación de periodos de tiempo para la realización de las audiciones públicas y consultas.

Una vez obtenida la licencia el tiempo válido para comenzar la construcción es de 10 años. La vigencia del permiso de operación de la central es de 40 años, pudiendo ser extendida por 10 o 20 años.

Canadá, total separación de licencias e importante participación ciudadana

El sistema de licencias de Canadá se destaca por su simplicidad a pesar de existir licencias separadas para cada fase de desarrollo de una central nuclear. A la vez, el sistema Canadiense se caracteriza por su activa participación ciudadana. El sistema de licencias es administrado por la Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) y está compuesto por 6 procesos[89]:

[87] Para conocer ejemplos adicionales ver: Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional, STUK (2009)

[88] Nuclear Power Plant Licensing Process, NRC (2005).

[89] Licensing process for new nuclear power plants in Canada, Canadian Nuclear Safety Commission (2006).

- Aprobación de evaluación medioambiental[90].
- Obtención de licencia de preparación de un sitio.
- Obtención de licencia para construcción.
- Obtención de licencia para operación.
- Obtención de licencia para el cierre de una planta.
- Obtención de licencia para abandonar una planta[91].

A pesar que Canadá no otorga licencias integradas, los procesos de obtención de licencias para preparar un sitio, construir y operar pueden ser ejecutados en paralelo. Toda la información del proyecto debe ser entregada en las primeras etapas de obtención de licencias, incluyendo el plan para el cierre de la planta y garantías financieras que el desarrollador del proyecto proponga para su aplicación.

Todos los procesos de obtención de licencias operan con un alto grado de transparencia. La CNSC impulsa la participación de la población en todos los procesos de obtención de licencia. Además de otorgar información y comunicación con la comunidad mediante consultas de opinión.

La vigencia de la licencia de operación en Canadá varía entre 3 a 5 años, teniéndose que realizar un proceso de renovación, en cada una de ellas, se incluye nuevamente la participación de la población.

Como fue descrito, el mayor impacto que puede generar el proceso de licencias es ser motivo de retrasos en la construcción y puesta en marcha de la central, con el consiguiente costo financiero que implica este hecho. Al respecto vale la pena destacar el ejemplo de lo realizado por EE.UU. respecto a este tema.

La Energy Policy Act de 2005 introdujo una serie de apoyos y garantías para el beneficio de los primeros proyectos nucleares que se desarrollen. En relación a las licencias se destaca un seguro de riesgo ante retrasos en el periodo de otorgamiento de licencias y construcción causadas por la acción o inacción del organismo regulador o procesos judiciales. La cobertura asciende a 500 MM USD para las dos primeras plantas y a 250 MM USD para las 4 siguientes. Estas garantías se establecen con el objeto de mitigar riesgos asociados con el proceso de obtención de licencias y de un cambio en la política energética del país.

[90] Es un prerrequisito para poder comenzar la obtención de las licencias. Consiste en la revisión de los potenciales efectos ambientales y establece eventuales medidas de mitigación de forma previa a la obtención de licencias.

[91] El marco regulatorio Canadiense establece que ningún dueño de centrales nucleares puede abandonar una central nuclear sin tener una licencia que lo autorice

IV. ANEXO: ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO: EXPERIENCIA INTERNACIONAL

El tema del financiamiento resulta finalmente en un ejercicio de gestión de riesgos, en el cual el sector privado toma un rol relevante, debiendo definir estructuras innovadoras para lograr el financiamiento del proyecto con el apoyo necesario del Estado.

Método de project finance

El método Project Finance ha sido utilizado largamente para llevar a cabo financiamiento de distintos proyectos de inversión, sin embargo no ha sido internacionalmente considerado para llevar a cabo proyectos nucleares.

Generalmente es utilizado para proyectos financiados sin recursos, involucrando fuertemente el flujo de ingreso futuro que pueda presentar el proyecto. Las garantías del prestamista radican en los contratos que conllevan el proyecto y los recursos físicos de este. El monto de la deuda en este tipo de estructuras de financiamiento llega generalmente al 90% del total, dependiendo de los riesgos que se enfrenten.

Dadas las características de largo plazo que presenta un proyecto nuclear, lo que impide estimar los flujos de ingreso en el largo plazo, es que se estima poco probable que una central nuclear sea financiada vía project finance, con la excepción de que la deuda sea asegurada por el Estado. Los mercados de capital requieren generalmente que el proyecto se presente con una gran liquidez financiera, bajo nivel de endeudamiento en la inversión y un mayor compromiso de apoyo de los gobiernos

Por otro lado, las empresas generadoras privadas no tienen la capacidad para financiar estos proyectos multimillonarios sin acceso a gran endeudamiento, recurso que actualmente resulta escaso en los mercados. Por lo mismo es que resultan fundamentales para la viabilización de los proyectos contratos a largo plazo de suministro, PPA o concesiones que permitan la definición de un project finance para financiar una planta nuclear. La revisión bibliográfica no da cuenta de proyectos nucleares actuales financiados a través de Project Finance.

Conformación de consorcios público-privada para levantamiento de capital.

Un segundo caso revisado internacionalmente corresponde a los esquemas tradicionales de corporate-finance, o inversión estratégica. En este caso son los operadores del mercado los promotores del proyecto. Generalmente el tamaño relevante que alcanzan estas asociaciones permiten el acceso al capital vía acciones, típicamente a través del respaldo de un grupo de empresas generadoras de energía.

Este tipo de operaciones se encuentran generalmente capitalizadas con un 60% de capital. Si las empresas participaran de forma independiente, el grado de leverage sería potencialmente menor, hecho que se vería reflejado en una menor clasificación de crédito.

Conformación de consorcios en que grandes clientes participen como desarrolladores del proyecto

La participación de un mayor número de agentes en el desarrollo de un proyecto nuclear puede resultar atractivo en la medida que los altos costos de inversión son compartidos por un mayor número de interesados. De esta forma la primera interrogante es si los agentes estarían interesados en el desarrollo conjunto de un proyecto núcleo-eléctrico.

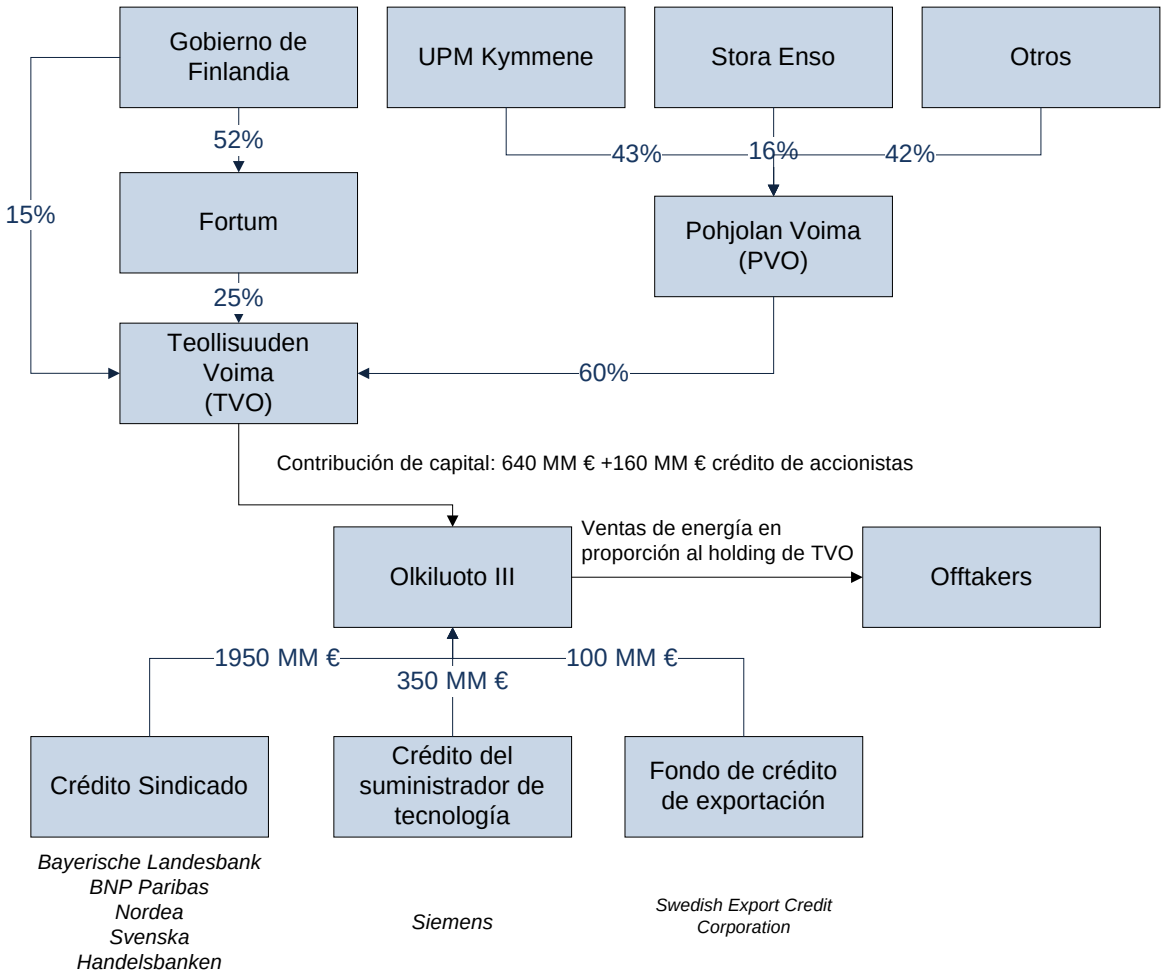


Figura 26: Caracterización de un proyecto nuclear, el caso Finlandia

El caso Finlandés es un ejemplo de lo que se propone como estructura de propiedad en este apartado. La empresa TVO, dueña y encargada de la operación de las plantas, es de propiedad compartida de empresas eléctricas pertenecientes al Estado y de grandes clientes forestales que se comprometen al aporte de capital en la formación de la organización recibiendo a cambio, y en el largo plazo, el suministro de energía a al costo de operación.

El Estado puede otorgar garantías, seguros y coberturas para el desarrollo de proyectos nucleares

El otorgar garantías de créditos, seguros y coberturas para llevar adelante un proyecto nuclear permite transferir el riesgo desde el privado hacia el Estado.

En el caso de Estados Unidos las garantías de préstamos ofrecidas para los servicios públicos permiten acceder a tasas preferenciales dadas por bonos del Tesoro del gobierno, de manera de dar coberturas por el 80% de la deuda para las primeras centrales en desarrollo.

No obstante lo anterior, la banca americana ha desistido de otorgar créditos en estas condiciones, insinuando que aunque incluso si fueran definieran coberturas por el 100% del crédito, estarían dispuestos a la entrega del financiamiento, dado el pobre historial de las centrales nucleares en el cumplimiento de los cronogramas de construcción y el sobrecosto que han enfrentado las distintas experiencias a nivel global.

V. ANEXO: MANEJO DE DESECHOS NUCLEARES: EXPERIENCIA INTERNACIONAL

Finlandia

Las preparaciones para el tratamiento de los desechos nucleares comenzaron a comienzos de la década de 1970, durante la preparación del programa nuclear. El alcance y cronograma de la solución fue definida por el gobierno en el año 1983. Esto ocurrió a menos de un año después del inicio de las operaciones comerciales de la primera central nuclear de potencia en Olikuoto, uno de los dos sitios en donde se localizan centrales nucleares de potencia.

En 1992, en el sitio de Olikuoto comenzó la disposición permanente de desechos de bajo y mediano nivel de radioactividad en una instalación a aproximadamente 100 [m] de profundidad, cuya construcción demoró 6 años. Posteriormente durante el año 1998, y luego de 5 años de construcción comenzó la operación de una segunda instalación de similares características está vez en el sitio Loviisa, el segundo sitio de ubicación de centrales nucleares de potencia.

Hasta el año 1996 Finlandia enviaba combustible nuclear irradiado hacia Rusia para su reprocesamiento, desde ese entonces el Estado finlandés prohibió la exportación de desechos nucleares.

En el año 2001 el parlamento ratificó la decisión respecto al manejo de los desechos nucleares de alto nivel de radioactividad, convirtiéndose en el primer país en aprobar un plan para la construcción de un repositorio geológico. Un año antes el sitio de Olikuoto había sido escogido como el sitio para la construcción del repositorio geológico subterráneo.

En este sentido, las empresas dueñas de las centrales nucleares tienen la obligación de cubrir todos los costos asociados a implementar la construcción y operación del repositorio geológico. Para este propósito, la construcción del repositorio geológico será realizada por un Joint Venture formado por las empresas TVO y Fortum. Producto de esto, en 1995 fue formada la empresa Posiva Oy, correspondiendo su propiedad a un 60% por TVO y un 40% por Fortum. Actualmente Posiva Oy se encuentra realizando la caracterización de la formación geológica en Olikuoto, proyecto que es conocido como ONKALO y que fue iniciado en el año 2004 con un costo estimado de 70 MM EUR. El inicio esperado de la construcción del repositorio es el año 2010, para lo cual es necesario obtener una licencia y la evaluación de seguridad por parte de Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK). La fecha planificada para el inicio de la operación corresponde al año 2020, para lo cual deberá obtener otra licencia.

Este país recauda a través de un impuesto un fondo para el tratamiento de desechos y el desmantelamiento de las centrales nucleares del país. Este impuesto es aplicado a las dos empresas operarias de centrales nucleares, TVO y Fortum, el cual ha sido incluido dentro del precio de su electricidad desde el inicio de sus operaciones. Los dineros recaudados son acumulados en el State Nuclear Waste Management Fund (SNWMF), el cual es administrado por el Estado bajo la responsabilidad del Ministerio de Comercio e Industria.

El impuesto es recaudado por el gobierno en base a la energía generada. El monto de dicho impuesto es calculado anualmente según las responsabilidades para el manejo de desechos a largo plazo de ambas compañías. Cada año, para cada compañía se realiza una estimación de los fondos necesarios para cubrir todas las actividades pendientes para el manejo de los desechos nucleares, adicionalmente medidas de cobertura deben ser entregadas de manera de garantizar el monto objetivo del fondo (ver Figura 27). De hecho, la Nuclear Energy Act establece que el gobierno debe cancelar la licencia de operación en el caso que no existan las garantías financieras para cubrir el tratamiento de los desechos desde el inicio de la operación comercial. Esta estimación es realizada en base a las decisiones tomadas para el tratamiento de los desechos y el conocimiento disponible en ese momento para permitir que se realice en plan dentro de los tiempos requeridos. Cabe destacar que dentro de la estimación de costos es considerada hasta cierto nivel la incertidumbre sobre precios y costos para la implementación de plan.

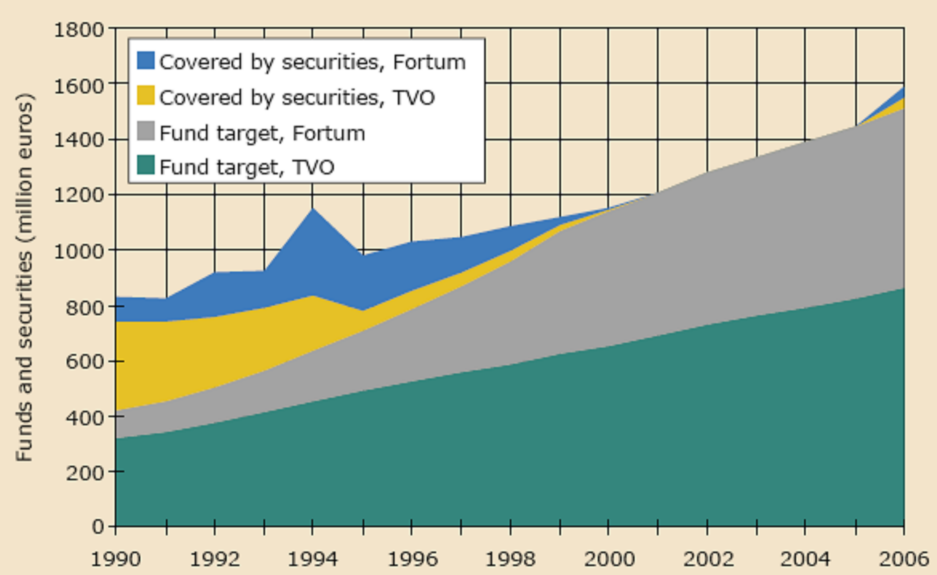


Figura 27: Fondos y garantías para el manejo de desechos nucleares y decomisionamiento de instalaciones nucleares en Finlandia (Fuente: Nuclear Waste Managment in Finland, Finnish Energy Industries (2006)).

Estados Unidos

Estados Unidos no tuvo legislación referente al manejo de desechos nucleares durante las primeras 4 décadas de uso de energía núcleo-eléctrica. Sólo en el año 1982, la Nuclear Waste Policy Act creó un procedimiento para el almacenamiento permanente de los desechos de la industria nuclear. El congreso asignó al Departamento de Energía la responsabilidad para localizar, construir, operar y cerrar un repositorio para el almacenamiento definitivo de los desechos radiactivos.

Desde 1987 fue designada a la montaña Yucca, Nevada como el lugar para la construcción del repositorio para el almacenamiento definitivo de los desechos nucleares, siendo ratificado por el Presidente George W. Bush y teniendo fecha esperada de termino de las obras en el año 2010. Sin embargo, el Presidente Obama rechazó su financiamiento en el año 2009,

declarando que la montaña Yucca ya no es una opción para el almacenamiento de desperdicios de reactores nucleares[92].

Desde el año 1982, los costos de trasporte, disposición y almacenaje de desechos radiactivos son cubiertos por los usuarios finales de la electricidad a nivel nacional. Un cargo de 1 USD/MWh es adicionado a la tarifa final de los clientes.

Inglaterra

En Inglaterra, excepto por la minería del Uranio, el ciclo completo del combustible nuclear es realizado por la empresa estatal British Nuclear Fuels plc (BNFL). La etapa de reprocesamiento del combustible nuclear también es realizada por BNFL, reprocesando combustible gastado de centrales de Reino Unido y extranjeras[93].

La disposición de desechos radiactivos de alto nivel actualmente son almacenados por BNFL en el sitio de Selladfield, por un mínimo de 50 años para su enfriamiento. Sin embargo, no existe alguna disposición para el manejo a largo plazo de los desechos a pesar que el tema fue estudiado desde el año 1978 con la formación del Comité Asesor para el Manejo de Desechos Radiactivos (RWMAC por sus siglas en ingles). Durante muchos años existió una fuerte crítica por la falta de una política que definiera el manejo de desechos producidos por la industria nuclear. Al respecto, en el año 2008 fue publicada la política del gobierno respecto al manejo de los desechos radiactivos, en el White Paper "Managing Radioactive Waste Safety" (MRWS).

Como punto principal del MRWS se encuentra la selección del sitio para posicionar un repositorio permanente. El MRWS crea la Nuclear Deccomissioning Authority (NDA), organización que administrará el manejo de los desechos. Respecto a la elección del sitio para el repositorio, el gobierno estableció un sistema de beneficios, invitando a las comunidades a ofrecerse voluntariamente para postular a la ubicación el repositorio. Sin embargo, aún existen críticas respecto al sistemas de beneficios, a la distinción que se hará de los desperdicios existentes y los producidos por las nuevas centrales nucleares y como esto afectará a la participación en el financiamiento los operadores privados[94].

Arius, una solución a nivel regional

Reconociendo los beneficios de economías de escala y potenciales ahorros en tiempo de desarrollo, Bélgica, Bulgaria, Hungría, Suiza entre otros, crearon el año 2000 la Asociación para el almacenamiento subterráneo regional e internacional[95] (ARIUS por sus siglas en ingles). ARIUS ha impulsado un proyecto de repositorios regionales europeos. Actualmente el proyecto está en desarrollo preliminar, definiendo la estrategia para el desarrollo de

[92] Future of nuclear power, MIT (update 2009).

[93] IAEA Radioactive Waste Management Database, http://newmdb.iaea.org/profiles.aspx?ByCountry=GB

[94] Review of drivers and barriers for nuclear power in the UK, Greenhalgh y Azapagic (2009).

[95] Proyecto Arius, www.arius-world.org

repositorios regionales compartidos a través de la formación de una organización sin fines de lucro, la European Repository Development Organization (ERDO)[96].

[96] Some Policy Challenges of a Global Nuclear Renaissance, Kate y Jong (2009)

VI. ANEXO: DESMANTELAMIENTO DE CENTRALES NUCLEARES: EXPERIENCIA INTERNACIONAL

España

La central nuclear Vandellos-1 fue cerrada tras 18 años de operación debido a que un incendio daño su turbina, con altísimos costos de reparación. Esta central consistía en un reactor nuclear de gas-grafito, con una capacidad de 480 MW. En el año 2003 concluyó la fase 2 del desmantelamiento, quedando para el libre uso el terreno que había sido utilizado por la central. La central estuvo 30 años en bajo el método de encerramiento, lo cual logró reducir en un 95% los niveles de radioactividad, y de este modo los restos de las instalaciones fueron demolidas. El costo de esta última etapa fue de 93 MM €.

Estados Unidos

En los Estados Unidos varias unidades han sido cerradas. Entre ellas destaca el ejemplo de la central Connecticut Yankee, de 590 MW de capacidad y del tipo PWR. El método usado fue el desmantelamiento temprano, comenzando los trabajos en 1998 y la demolición concluyó en el año 2006. El sitio fue liberado para su uso no restringido en el año 2007, excepto por 2 hectáreas usadas para el almacenamiento temporal de combustible nuclear irradiado.

Japón

La central Tokai-1, consistente de un reactor tipo Magnox y de 160 MW de capacidad, fue cerrada en 1998 tras 32 años de operación. Tras 5 o 10 años de postergación, las instalaciones serán desmanteladas y el sitio será liberado para otros usos. El costo estimado asciende a 93.000 millones de yenes, de los cuales 35.000 millones corresponden al desmantelamiento y el resto al tratamiento de los desechos nucleares.

VII. ANEXO: SEGUROS DE RESPONSABILIDAD CIVIL: EXPERIENCIA INTERNACIONAL

En la experiencia internacional, existen dos tipos de países según las medidas que han tomado para manejar los seguros de responsabilidad civil nuclear[97].

- Países que han adoptado los estándares establecidos por convenciones internacionales y que tienen sus marcos regulatorios que aplican sus principios, como Alemania, Francia, Suecia, Suiza, Finlandia.
    - Finlandia: Una ley del 2005 establece que el operador de centrales nucleares contrate una cobertura por al menos €700 MM. La definición de daño nuclear es definida según las revisiones de la convención de Paris, lo que incluye accidentes causados por terrorismo.
    - Suecia: El marco regulatorio nacional establece la obligación de una contratación de seguros con una cobertura máxima de €300 MM, los daños no cubiertos por el seguro son cubiertos por el Estado hasta por €6000 MM por accidente.
- Países que no son parte de ninguna convención internacional, pero que tienen un marco regulatorio asociado a seguros de responsabilidad civil nuclear. Algunos países que han tomado esta opción son: Estados Unidos, Canadá, Japón y Corea del Sur.
    - Estados Unidos: No forma parte de ninguna convención internacional, sin embargo, este país fue el pionero en establecer una legislación de responsabilidad civil nuclear. Desde 1957 la Price-Anderson Act ha regulado la contratación de seguros, y en el año 2005 fue extendida su vigencia y actualmente otorga una cobertura de 10000 MM USD, la cual fue aportada por los privados.

      La cobertura está compuesta por dos partes, la primera de ellas consiste en que cada central nuclear debe contratar un seguro de hasta 300 MM USD. Una segunda componente, corresponde a un fondo cubierto por todos los dueños de centrales nucleares del país. Este fondo compromete un monto de compensación de hasta 112 MM USD por accidente y por central. Este fondo común es formado por un pago anual de 17,5 MM USD (ajustado por inflación). En conjunto, la cobertura pagada por las empresas comprende a 10000 MM USD.
- Canadá: La Nuclear Liability and Compensation Act fija un límite de 75 MM CAD. La cobertura es provista por un pool de aseguradores. El gobierno no aporta fondos para la contratación de los seguros.

[97] Civil Liability for Nuclear Damage, http://www.world-nuclear.org/info/inf67.html

Estudio de la Comisión Nacional de Energía de Chile:

Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional

Contrato entre la Comisión Nacional de Energía de Chile y el Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia

Preparado por
Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia
(STUK)

INFORME FINAL

Marzo de 2009

ÍNDICE

1 Introducción

2 Resumen del avance del proyecto desde el inicio

3 Generalidades sobre los marcos relativos a la seguridad nuclear internacional

- 3.1 Enfoque seleccionado
- 3.2 Legislación
- 3.3 Sistema de regulaciones
- 3.4 Sistema de otorgamiento de permisos
- 3.5 Estructura de organización gubernamental
- 3.6 Organismo regulador y sus funciones y estructura organizativa
- 3.7 Sistema de generación de electricidad
- 3.8 Plantas de energía nuclear en operación y en construcción
- 3.9 Organizaciones de propietario/ operador
- 3.10 Infraestructura industrial de respaldo
- 3.11 Administración de desechos y combustible nuclear
- 3.12 Institutos y organizaciones de investigación y desarrollo
- 3.13 Recursos humanos
- 3.14 Futuros programas nucleares

4. Modelo regulador conceptual para seguridad nuclear

5. Aplicación del modelo conceptual a la infraestructura de regulación chilena

6. Conclusiones

7. Referencias

Anexo 1 Enfoque relativo a las pautas de regulación

Anexo 2 Organizaciones gubernamentales y organizativas en los países mencionados

1. Introducción

El Proyecto

Este proyecto se basa en el contrato suscrito entre la Comisión Nacional de Energía, CNE de Chile y el Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK) de Finlandia /1a/ sobre la base de la licitación para el estudio: Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional /1b/. El objetivo del estudio es tener una visión global de la experiencia internacional con relación a los Marcos Reguladores vigentes, para la generación eléctrica nuclear en la forma de modelos conceptuales. La aplicación del modelo conceptual al marco regulador chileno existente también es un objetivo para este estudio.

Antecedentes sobre la energía nuclear en Chile

El uso pacífico de la energía nuclear en Chile data de 1965 cuando, de conformidad con la Ley N° 16.319 /1b/, se creó la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). La CCHEN es responsable de "manejar los problemas relativos a la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de energía atómica y materiales fértiles, físiles y radioactivos". De acuerdo a la Ley N° 18.302 sobre Seguridad Nacional, la CCHEN es responsable de regular, supervisar, controlar e inspeccionar sus propias instalaciones nucleares y radioactivas y las instalaciones radioactivas de 1ª categoría (las más grandes del país). Las otras instalaciones radioactivas, de 2ª y 3ª categoría, son reguladas e inspeccionadas por las Secretarías Regionales (SEREMIs) del Ministerio de Salud.

Las instalaciones de las que la CCHEN es responsable, comprenden aquellas de naturaleza industrial, tales como plantas de irradiación, el tratamiento de desechos radioactivos, la producción y uso de isótopos radioactivos, radiografía y gamagrafía industrial, e instalaciones médicas tales como equipos de teleterapia, aceleradores lineales, bombas de cobalto y equipos de braquioterapia y medicina nuclear. En la actualidad, existen 444 instalaciones industriales y médicas, con 607 operadores, que están dentro de esta categoría y son controladas e inspeccionadas por la CCHEN. Los Acuerdos sobre cooperación nuclear con países europeos y Estados Unidos, así como también la asistencia técnica recibida de la IAEA, contribuyeron a la formación de un grupo de profesionales, civiles y militares, que respaldaron a la CCHE en la instalación de los reactores experimentales de La Reina y Lo Aguirre.

Chile ha firmado tratados y convenios nucleares que incluyen, entre los más importantes /1b/:
(a) Tratado para la Prohibición de Armas Nucleares en América Latina y el Caribe (Tratado de Tlatelolco), ratificado por Chile en 1974.
(b) Tratado sobre la No Proliferación de Armas Nucleares (TNP), ratificado por Chile en 1995, bajo el cual el país está sujeto al sistema de protecciones de la IAEA.
(c) Convenios sobre Protección Física de Material Nuclear, ratificado en 1994.
(d) Convenio sobre Seguridad Nuclear, ratificado en 1996.
(e) Tratado de Prohibición Total de Pruebas Nucleares, ratificado en 2000.
(f) Convenio de Notificación Temprana de Accidentes Nucleares y Convenio de Asistencia en Caso de Accidentes Nucleares o Emergencias Radiológicas, ratificados en 2005.

Organización del proyecto

El Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK) era el líder del Consultor.
Los conocimientos técnicos eran proporcionados por el siguiente regulador nuclear finlandés y su soporte técnico:

- Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK)
  - Sr. Hannu Koponen
  - Sr. Ilari Aro
- Consultor de STUK en asuntos relativos a la industria nuclear
  - Sr. Ami Rastas
- Finpro
  - Sra. Heta Pyhälahti
  - Sr. Christian Peña-Ratinen
  - Sr. Pekka Tolonen

El grupo homólogo CNE estaba constituido por dos profesionales de alto rango, encabezados por el Jefe del Área de Estudios, Sr. Claudio Huepe Minoletti y la Sra. Carolina Hernández. Mantuvieron contacto con los profesionales de alto rango de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), el Ministerio de Salud (MINSAL) y el Ministerio de Minería (MIM).

Los detalles para la ejecución del proyecto se incluyeron en los Términos de Referencia (ToR) /1b/. La fecha de inicio del proyecto fue 17 de Diciembre de 2008 y la fecha de término 8 de Abril de 2009.

El Consultor trabajó en estrecho contacto con la CNE, además de traspasar los conocimientos técnicos con la finalidad de comprender las condiciones chilenas y ayudar a las organizaciones de Chile a entender los resultados del estudio.

El proceso de revisión se dividió en cuatro tareas:

- Tarea 1. Análisis de la experiencia internacional en el sector de la industria nuclear.
- Tarea 2. Análisis de la experiencia internacional en los marcos reguladores nucleares.
- Tarea 3. Aplicación de un modelo conceptual en la infraestructura reguladora chilena existente.
- Tarea 4. Taller sobre prácticas reguladoras nucleares en el establecimiento de un programa de energía nuclear.

Se designó a un experto como Líder de Tarea. Los Líderes de Tareas fueron los siguientes expertos: Tarea 1: Sr. Rastas, Tarea 2: Sr. Aro, Tarea 3: Sr. Koponen y Tarea 4: Sr. Aro.

2. Resumen del avance del proyecto desde el inicio

El proyecto se llevará a cabo entre el 17 de Diciembre de 2008 y el 8 de Abril de 2009. La Reunión Inicial, a mediados de Diciembre, se organizó en Santiago de Chile en las oficinas CNW, donde se analizaron y convinieron las actividades, incluido el calendario. Durante la reunión, los señores Ilari Aro y Christian Peña-Ratinen visitaron diversas organizaciones chilenas y sostuvieron conversaciones para recibir información importante sobre la situación chilena y el rol de las distintas organizaciones. El representante de la STUK, Sr. Ilari Aro,

también presentó las prácticas concernientes a los marcos legislativos y reguladores de Finlandia, las que se analizaron con los miembros del comité chileno de la CNE.

El Consultor preparó y entregó a la CNE el Informe de Inicio de las Actividades a fines de Diciembre de 2008, detallando el plan de trabajo. El Consultor entregó el Informe de Desarrollo de Actividades a fines de Enero de 2009, presentando la información sobre el avance de las Tareas 1 y 2, con el objeto de analizar las experiencias internacionales con relación a los marcos reguladores nucleares para la generación de energía eléctrica nuclear. En el análisis se utilizaron los marcos reguladores y sistemas de generación eléctrico-nuclear de Argentina, Brasil, Canadá, EE.UU., España, Finlandia, Francia y la República de Corea.

Durante Febrero de 2009, se efectuó un análisis más detallado de los resultados generales para evaluar las ventajas y desventajas de llegar a conclusiones útiles para el desarrollo de las prácticas reguladoras nucleares chilenas. Se identificó un modelo conceptual para el marco regulador nuclear y se especificaron las funciones para cada organización, además de las responsabilidades y atribuciones, incluyendo el grado de autonomía e independencia de cada una. Además, se aplicó el modelo conceptual a la infraestructura chilena existente. Los resultados preliminares se presentaron a fines de Febrero de 2009 y se analizaron durante la reunión final y el taller específico realizado la primera semana de Marzo. Los comentarios presentados se tomaron en cuenta en el informe final. Los resultados del trabajo de análisis se presentan en este informe.

Como parte del estudio, se organizó en Santiago de Chile un taller de tres días relativo a las prácticas reguladoras nucleares y sobre el establecimiento de un programa nuclear. El objetivo era intercambiar experiencias y proporcionar información actualizada sobre las prácticas reguladoras en los distintos países, además de respaldar a las organizaciones chilenas en el desarrollo del marco regulador nuclear.

En la Figura 1 se presenta el programa de trabajo.

Tareas del mes	**0 Nov. 08**	**1 Dic. 08**	**2 Ene. 09**	**3 Feb. 09**	**4 Mar. 09**	**5 Abr. 09**
Coordinación técnica del proyecto		BAR IM	DAR		FR FM	
Tarea 1						
Tarea 2						
Tarea 3						
Tarea 4						
Generación de informes						

BAR: Informe de Inicio de Actividades DAR: Informe de Desarrollo de Actividades
FR: Informe Final IM: Reunión Inicial FM: Reunión Final

Figura 1. *Programa de Trabajo*

3. Generalidades sobre los marcos relativos a la seguridad nuclear internacional

3.1 Enfoque seleccionado

En el análisis de las experiencias internacionales se utilizaron los sistemas de generación eléctrico-nuclear y marcos reguladores en los países seleccionados de referencia, como Argentina, Brasil, Canadá, Estados Unidos, España, Finlandia, Francia y la República de Corea. En algunos capítulos, se proporciona mayor información referente a uno de los países, para entregar un ejemplo más detallado. El objetivo en la Tarea 1 era analizar las industrias nucleares a través de la selección de parámetros/ asuntos claves, teniendo un efecto en los marcos reguladores nucleares. De manera similar, en la Tarea 2 se seleccionaron los asuntos claves para los marcos reguladores nucleares y, además, se presentaron y analizaron. En este capítulo se presentan los resultados combinados de las Tareas 1 y 2 y se extraen las conclusiones y hallazgos claves para el desarrollo del marco regulador chileno.

Los asuntos claves seleccionados son los siguientes:

- Legislación
- Sistema de regulaciones
- Sistema de otorgamiento de permisos
- Estructura organizativa gubernamental
- Organismo regulador y sus funciones y estructura organizativa
- Sistema de generación de electricidad
- Plantas de energía nuclear en operación y en construcción
- Organizaciones del propietario/ operador
- Infraestructura industrial de respaldo
- Administración de desechos y combustible nuclear
- Organizaciones de investigación y desarrollo
- Recursos humanos
- Futuros programas nucleares

A continuación se presenta un resumen del estado de desarrollo en los ocho países de referencia, basado en los 13 asuntos claves. Los antecedentes se incluyen por país en el Informe de Desarrollo de Actividades /2/ en caso que se necesite información específica del país. Una fuente útil de información específica para el país se proporciona en los Informes Nacionales para el Convenio de Seguridad Nuclear, donde los propios países explican sus marcos reguladores, enfoques reguladores y el cumplimiento de los artículos del Convenio /3 -11/. En primer lugar, se proporciona la información general del país con el fin de dar a conocer algunos antecedentes para el análisis.

Información general del país

Existen grandes variaciones entre los países de referencia respecto al área, la población y el producto interno bruto, tal como se muestra en la Tabla I. La población de Chile es la segunda más pequeña en comparación a los países de

referencia. Finlandia es un ejemplo de que un país pequeño puede explotar con éxito una planta nuclear.

Tabla I. Parámetros claves en 2007 para Chile y los países mencionados (Fuente: Banco Mundial).

País	**Área**	**Población**	**PIB**	**PIB/per cápita**
	1000 km^2	Millones	Miles de millones US$	US$
Argentina	2780	39,5	262	6050
Brasil	8515	191,6	1314	5910
Canadá	9985	33,0	1326	39420
EE.UU.	9632	301,6	13811	46040
España	505	44,9	1429	29450
Finlandia	338	5,3	246	44400
Francia	552	61,7	2562	38500
República de Corea	99	48,5	970	19690
Chile	757	16,6	164	8350

El Producto Interno Bruto (PIB) de Chile es inferior al PIB de los países mencionados. Significa que la creación de la infraestructura necesaria para producir energía nuclear sería un mayor desafío en proporción a la economía total de Chile, si se hace una comparación con los países de referencia. Sin embargo, existen muchos otros países nucleares (Armenia, Bulgaria, Hungría, Pakistán, República Eslovaca y Ucrania) con un PIB inferior al de Chile.

3.2 Legislación

La producción de energía nuclear es una actividad útil pero potencialmente peligrosa. Por lo tanto, es una práctica normal que el Parlamento apruebe una ley para controlar la actividad, de manera que no cause daños a terceras personas y para establecer un organismo regulador para el control de la actividad. En la ley, el Parlamento también entrega poderes al organismo regulador y define los procedimientos de otorgamiento de permisos para las instalaciones de producción.

Existen dos artículos vinculantes (Artículo 7 y Artículo 8) en el Convenio sobre Seguridad Nuclear /3/ referentes a los marcos reguladores nucleares y legislativos, en el caso del uso de la energía nuclear.

El Artículo 7 del Convenio sobre Seguridad Nuclear referente al marco regulador y legislativo exige que:

- Cada parte contratante establezca y mantenga un marco regulador y legislativo que controle la seguridad de las instalaciones nucleares.
- El marco regulador y legislativo:
    - Establezca regulaciones y requerimientos de seguridad nacional aplicables.
    - Proporcione un sistema de otorgamiento de permisos con relación a las instalaciones nucleares y a la prohibición de operar una instalación nuclear sin autorización.

- Proporcione un sistema regulador de inspección y evaluación de las instalaciones nucleares, para determinar el cumplimiento de las regulaciones aplicables y términos de los permisos.
- Haga cumplir las regulaciones aplicables y los términos de los permisos, incluyendo la suspensión, modificación o revocación.

Artículo 8 del Convenio sobre Seguridad Nuclear respecto al organismo regulador exige que:

- Cada parte contratante establezca o designe un organismo regulador encargado de implementar el marco regulador y legislativo mencionado en el Artículo 7 y con la autoridad, competencia y recursos humanos y financieros adecuados para cumplir con las responsabilidades asignadas.
- Cada parte contratante adoptará los pasos adecuados para garantizar una separación efectiva entre las funciones del organismo regulador y de los otros organismos u organizaciones interesadas en la promoción o utilización de energía nuclear.

Todos los países mencionados cuentan con los correspondientes marcos legislativos para regular la seguridad de las instalaciones nucleares. El marco legislativo establece:

- Requerimientos y regulaciones nacionales de seguridad.
- Un sistema de otorgamiento de permisos.
- Un organismo regulador que controla el uso de energía nuclear.

Sin embargo, existen diferencias en cada país respecto a dónde y cómo se presentan estos asuntos en las leyes y regulaciones. Actualmente existen asuntos específicos sobre los que se hace hincapié en cada país en sus Informes Nacionales para el Convenio sobre Seguridad Nuclear, por ej.: asuntos sobre transparencia, participación pública y medio ambiente. La legislación varía en lo que respecta a los nombres de las leyes, etc. Los siguientes ejemplos reflejan las diferencias.

En Argentina, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) se creó por decreto en 1950. Con posterioridad, las diferentes reglamentaciones legales determinaron la competencia de la CNEA como Organismo Regulador en el campo de la seguridad radiológica y nuclear, en lo que respecta a los efectos dañinos de la radiación ionizante, la seguridad de las instalaciones nucleares y el control del uso de material nuclear. Durante la década de los noventa, el desarrollo de actividades nucleares creó la necesidad de una independencia funcional de las otras actividades de la CNEA respecto del Organismo Regulador. En 1994, el Gobierno decidió que la producción de energía nuclear se transferiría al sector privado, preservando la función reguladora y el control de actividades nucleares a nivel estatal y que, de manera formal, permanecería independiente de promotores y usuarios. Como consecuencia de ello, el Poder Ejecutivo Nacional creó la Comisión de Regulación Nuclear por Decreto N° 1540/94, con jurisdicción en todo el territorio nacional. A partir de este decreto, la Comisión de Regulación Nuclear se transformó en la Autoridad de Regulación Nuclear (ARN), encargada de desempeñar todas las funciones reguladoras y de control de la actividad nuclear. La Ley Nacional de Actividad Nuclear (N° 24804/97) fue aprobada, proclamando la creación de la ARN como Organismo Regulador. /4/

En Brasil, la Constitución Federal de 1988 especifica la distribución de responsabilidades entre la Unión Federal, los Estados y las Municipalidades con respecto a la protección de la salud pública y el medio ambiente, incluyendo el control de instalaciones y materiales radioactivos. La Unión únicamente es

responsable de las actividades nucleares relacionadas con la generación de electricidad, incluyendo la regulación, otorgamiento de permisos y control de la seguridad nuclear (Artículos 21 - 24, 202). La Comissão Nacional de Energia Nuclear (Comisión Nacional Brasileña de Energía Nuclear - CNEN) corresponde al organismo regulador nacional, de acuerdo con la Ley de Política de Energía Nuclear Nacional (Ley 4118/62 de 1962). Además, los principios constitucionales referentes a la protección del medio ambiente exigen que, cualquier instalación que pueda causar un impacto medioambiental significativo, deba ser sometida a estudios de impacto medioambiental. Más específicamente, para plantas de energía nuclear, la Constitución Federal establece que el emplazamiento de la instalación debe ser aprobado por Ley (Artículo 225, Párrafo 6). Por lo tanto, el otorgamiento de permisos para plantas de energía nuclear está sujeto a la autorización nuclear de la CNEN y de una autorización medioambiental del Instituto Brasileño para el Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis –IBAMA), con la participación de organismos medioambientales locales y estatales, tal como se especifica en la Ley de Política Medioambiental Nacional. /5/

En Canadá, el Parlamento aprobó en 1997 la Ley de Control y Seguridad Nuclear (NSCA), que presenta el marco regulador nuclear. La legislación original, Ley de Control de Energía Atómica, data de 1946. La nueva ley comenzó a regir el 31 de Mayo de 2000 y rige a las Coronas federales y provinciales de Canadá, así como también al sector privado. La NSCA establece el nuevo organismo regulador, la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC). La CNSC establece la política reguladora sobre asuntos relativos a la salud, seguridad, prevención de accidentes, seguridad y medio ambiente. También toma decisiones independientes respecto al otorgamiento de permisos y crea reglamentaciones obligatorias. /6/

En Estados Unidos de América, la Ley de Energía Atómica, aprobada por el Congreso y firmada por el Presidente, proporciona el marco para la siguiente regulación referente a las instalaciones nucleares. Sin embargo, como pasa frecuentemente con la mayoría de las leyes, esta ley proporciona los conceptos y principios generales, y deja que el organismo regulador (es decir, la Comisión Reguladora Nuclear, NRC) aborde los detalles a través de regulaciones específicas. Las regulaciones sobre instalaciones nucleares en Estados Unidos son regidas por la Ley de Energía Atómica y la Ley de Reorganización Energética. La NCR administra estos estatutos otorgando permisos para instalaciones nucleares comerciales en Estados Unidos. /7/

En España, la Ley 24/2005 crea el Consejo de Seguridad Nuclear. La Ley establece que los procedimientos de autorización aplicables a cada fase en la vida de dichas instalaciones nucleares y radioactivas, se regularán por medio de normas de regulación específicas, sin alcanzar el nivel de la Ley. Además de su función obligatoria de generación de informes sobre todas las autorizaciones, el Consejo de Seguridad Nuclear cumple con la función de supervisar las instalaciones nucleares y radioactivas: durante la selección del sitio, puesta en servicio, operación y desmantelamiento y cierre. Las Instrucciones del Consejo de Seguridad Nuclear tienen un carácter obligatorio, al igual que los estándares técnicos. La Ley establece explícitamente los aspectos administrativos referentes a la participación de la Administración Regional en los procedimientos de autorización para instalaciones nucleares y radioactivas, concernientes a la “regulación medioambiental y a la planificación del uso de la tierra”. La Ley 27/2006 sobre los derechos de información,

participación pública y acceso a justicia respecto a asuntos medioambientales, se refiere a los derechos de los ciudadanos a tener acceso los documentos de las administraciones públicas relativos a asuntos medioambientales, tomando en cuenta las directrices 2003/4/EC y 2003/35/EC sobre información pública y asuntos medioambientales. /8/

En Finlandia, la actual legislación nuclear de 2008 se basa en la Ley de Energía Nuclear de 1987, junto con el Decreto de respaldo sobre Energía Nuclear de 1988. El alcance de esta legislación abarca, por ejemplo:

- La construcción y operación de instalaciones nucleares. Las instalaciones nucleares se refieren a las instalaciones para la producción de energía nuclear, incluyendo reactores experimentales, instalaciones para la eliminación extensa de desechos nucleares, e instalaciones utilizadas para la extensa fabricación, producción, uso, manejo o almacenamiento de materiales nucleares o desechos nucleares.
- La posesión, fabricación, producción, manejo, uso, almacenamiento, transporte, exportación e importación de materiales y desechos nucleares, así como también la exportación e importación de minerales y concentrados minerales con contenido de uranio o torio.

La actual legislación relativa a la radiación se basa en el Decreto y Ley de Radiación, ambos son de 1991 y toman en cuenta la Publicación ICRP 60 (Recomendaciones 1990 de la Comisión Internacional sobre Protección Radiológica). La Sección 2, Principios Generales y el Capítulo 9 de la Ley, trabajos de Radiación, se aplican al uso de energía nuclear. Existe una Ley y un decreto específico sobre el Organismo Regulador de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK). STUK tiene la autoridad legal para llevar a cabo un control regulador. Las responsabilidades y derechos de STUK, con respecto a la regulación del uso de energía nuclear, se establecen en la Ley de Energía Nuclear. Cubren la revisión y evaluación de seguridad de las solicitudes de permisos y el control regulador de la construcción y operación de una instalación nuclear. /9/

En Francia, la base legislativa que regula la seguridad de las instalaciones nucleares es la ley de 2006 sobre transparencia y seguridad en el campo nuclear, conocida como “Ley TSN”, que fundamentalmente reformula el marco legal aplicable a las actividades nucleares y su regulación. La ley establece una autoridad de seguridad nuclear (ASN), una autoridad administrativa independiente con responsabilidad para regular la seguridad nuclear y la protección radiológica e informar al público en estas áreas. La ley contiene avances respecto a la transparencia. La ley confirma que los cuatro principios de protección ambiental más importantes se aplican a las actividades nucleares: prevención, precaución, el que contamina paga y participación pública. A este respecto, reproduce los estatutos medioambientales que ahora forman parte del acervo constitucional. También reafirma los principios más importantes de protección radiológica: justificación, optimización y limitación. Confirma el principio fundamental de la responsabilidad principal que tiene la persona autorizada respecto a la seguridad de la instalación y que se incorpora a la ley internacional, se aplica todos los días y es esencial para proporcionar a cada parte, persona autorizada y autoridad reguladora, una clara conciencia de sus responsabilidades. /10/

En la República de Corea, las leyes nacionales relativas al desarrollo, utilización y regulación de seguridad de la energía nuclear son la Ley de Energía Atómica, la Ley de Negocios de Electricidad, la Ley Básica de Política

Medioambiental, etc. Todas las disposiciones sobre regulación de la seguridad nuclear y protección radiológica se le confían a la Ley de Energía Atómica. La Ley de Energía Atómica se promulgó como la principal ley concerniente a las regulaciones de seguridad de las instalaciones nucleares. El sistema de la Ley de Energía Atómica se compone de cuatro etapas: la Ley de Energía Atómica, el Decreto de Cumplimiento de la misma Ley, las Regulaciones de Cumplimiento y la Notificación del Ministro de Ciencias y Tecnología. La Ley de Energía Atómica proporciona las bases y materias fundamentales relativas al desarrollo y utilización de energía nuclear y regulación de seguridad. /11/

3.3 Sistema de regulaciones

El Artículo 7 del Convenio sobre Seguridad Nuclear en el marco regulador y legislativo, exige que dicho marco proporcione el establecimiento de requerimientos y regulaciones de seguridad nacional aplicables.

El Convenio sobre Seguridad Nuclear proporciona una serie de requerimientos obligatorios para las Partes Contratantes. La Agencia Internacional de Energía Atómica IAEA publica un conjunto integral de Normas de Seguridad, incluyendo Requerimientos y Pautas de Seguridad. Las Normas de Seguridad de la IAEA no son obligatorias para los Estados Miembros, pero proporcionan una buena base para el desarrollo de regulaciones a nivel nacional. Además, otras organizaciones internacionales como WENRA (Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental), han publicado pautas de seguridad para que sus miembros las utilicen en trabajos de desarrollo a nivel nacional.

La Comisión de Regulación Nuclear (NRC) de **Estados Unidos** proporciona un conjunto integral de regulaciones nucleares y pautas de regulación a nivel nacional. En un comienzo y también en la actualidad, muchos países utilizan las pautas de la NRC directamente si la entrega del reactor la realiza Estados Unidos o si fue fabricado con autorización de dicho país. Para muchos países, tales como Finlandia, las pautas de regulación de EE.UU. conformaron un modelo y una referencia importante, en un comienzo, aunque los reactores fueran de otro origen. Muchos proveedores hacían y siguen haciendo referencia a las pautas de EE.UU. en sus Informes de Análisis de Seguridad para proporcionar un entendimiento común para el caso de seguridad. Las regulaciones de EE.UU., así como también las pautas de menor nivel, se encuentran disponibles en la página web estadounidense de la NRC. /7/

Para los países o los programas nucleares más pequeños, el desarrollo de las propias regulaciones de seguridad y pautas de regulación es una tarea compleja. Significa que algunas de las pautas pueden existir en la base nacional, pero hay algunas pautas que faltan. En tales casos, pueden consultarse las pautas de seguridad internacionales, por ej.: del país del que proviene el reactor, o las Normas de Seguridad IAEA. En algunos países, la industria crea normas técnicas que luego son aprobadas por el organismo regulador. Para la creación de regulaciones y pautas de regulación, por lo general se consulta la pirámide reguladora para efectuar una comparación con el estado de los distintos niveles legislativos (ley, decreto, orden ministerial, etc.), reglamentaciones, pautas de regulación y normas técnicas, debido a que, por lo general, los nombres en los distintos países también difieren. La Figura 2 incluye un ejemplo de Finlandia. A continuación se refleja el estado de desarrollo en los países de referencia y sujetos a comparación.

En Argentina, la Ley N° 24804/97 faculta al Organismo Regulador a emitir y establecer las normas que regulan y controlan las actividades nucleares, incluyendo temas como la seguridad radiológica y nuclear, la protección de materiales nucleares y la protección física. El sistema, conocido como "Normas AR", en la actualidad cuenta con 61 normas, de las cuales 30 se relacionan directa o indirectamente con las plantas de energía nuclear en todas sus etapas: diseño, construcción, puesta en servicio, operación y desmantelamiento. De manera adicional, existe una actividad permanente del Organismo Regulador, que corresponde a la revisión y actualización de normas tendientes a mantener actualizado también el sistema de regulación. Existen algunas normas útiles que también pueden utilizarse como referencia en Chile: la Norma de Regulación AR 3-1-3 contiene los criterios de aceptación para el diseño de Plantas de Energía Nuclear (NPP). La norma AR-3.10.1 "Protección contra Terremotos" estuvo bajo revisión en 2007 y las nuevas normas de regulación están en pleno desarrollo: AR-3.10.2 "Criterios Generales de Seguridad para el Emplazamiento", AR-3.10.3 "Criterios de Seguridad para la Evaluación de Eventos Externos" y AR-3.10.4 "Criterios para Determinar los Efectos Potenciales de la NNP en la Región". /4/

En Brasil, los organismos reguladores CNEN, IBAMA y SIPRON para seguridad radiológica y nuclear, protección medioambiental y preparación frente a emergencias respectivamente, han publicado un gran número de regulaciones para la seguridad radiológica y nuclear. La CNEN ha emitido una serie de regulaciones de protección radiológica y regulaciones para el proceso de otorgamiento de permisos para plantas de energía nuclear, seguridad durante la operación, control de calidad, otorgamiento de permisos al personal de operaciones y su certificación médica para servicio activo, requerimientos de generación de informes para las plantas de energía nuclear en operación, mantenimiento de plantas y otros. El Anexo 1 proporciona como ejemplo, importantes regulaciones brasileñas necesarias para el programa nuclear (aunque la lista no está completa). La lista también muestra las áreas técnicas donde el organismo regulador necesita la competencia correspondiente. /5/

En Canadá, se emiten las siguientes regulaciones de conformidad con la Ley de Control y Seguridad Nuclear: Regulaciones de Control y Seguridad Nuclear; Regulaciones de Protección Radiológica; Regulaciones referentes a Equipos e Instalaciones Nucleares Clase I y II; Regulaciones sobre Dispositivos de Radiación y Substancias Nucleares; Regulaciones sobre el Empaque y Transporte de Sustancias Nucleares; Regulaciones sobre Molinos y Minas de Uranio; Regulaciones sobre Seguridad Nuclear; Regulaciones sobre Control de Importación y Exportación de No Proliferación Nuclear; Regulaciones sobre Derechos de Recuperación de Costos de la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear y Normas Procesales de la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear. /6/

En España, recientemente se han aprobado una serie de regulaciones referentes a asuntos de planificación de emergencia nuclear: Decreto Real 1546/2004 sobre el Plan Básico de Emergencia Nuclear y Orden INT/1695/2005 del Ministerio del Interior con relación al Plan de Emergencia Nuclear a Nivel Nacional. El Consejo de Seguridad Nuclear publica instrucciones técnicas sobre seguridad radiológica y nuclear. El valor legal de este tipo de normas es el mismo que el de una regulación Gubernamental. Tales obligaciones no pueden contradecir las regulaciones del Gobierno (Decretos Reales, Órdenes Ministeriales) con un amplio espectro. En resumen, son normas permanentes integradas al sistema legal, que pueden ser modificadas en tribunales como

cualquier otra regulación administrativa. También se publican Directrices del Consejo de Seguridad Nuclear. Son documentos que contienen recomendaciones. En la actualidad, hay más de 50 Directrices disponibles concernientes a la seguridad radiológica y nuclear. /8/

En Finlandia, en base a la Ley de Energía Nuclear, el Consejo del Estado emitió los siguientes decretos (modificados) en 2008:

- Sobre seguridad de las Plantas de Energía Nuclear (733/2008)
- Sobre protección física de las Plantas de Energía Nuclear (734/2008)
- Sobre la preparación para emergencias (735/2008)
- Sobre seguridad de la eliminación de desechos nucleares (736/2008).

Estructura jerárquica de las regulaciones de seguridad

Figura 2. *Pirámide de regulación en Finlandia*

La Jerarquía de las regulaciones finlandesas se presenta en la Figura 2. STUK proporciona requerimientos de seguridad detallados en las Pautas de Regulación (Pautas YVL). Las Pautas YVL también proporcionan procedimientos administrativos para la regulación del uso de energía nuclear. Las Pautas YVL son normas que un individuo autorizado o cualquier otra organización interesada debe cumplir, a menos que a la STUK le hayan presentado alguna otra solución o procedimiento aceptable, mediante el cual se alcance el nivel de servicio establecido en una Pauta YVL. El procedimiento para aplicar nuevas pautas a las instalaciones nucleares existentes es tal, que la publicación de una Pauta YVL no modifica ninguna de las decisiones previas tomadas por la STUK. Luego de haber escuchado a los interesados, STUK toma una decisión por separado respecto a cómo una Pauta YVL nueva o modificada se aplica a las plantas de energía nuclear en operación, o a aquellas en construcción y a las actividades operacionales de las personas autorizadas. Sin embargo, para las nuevas instalaciones nucleares las pautas se aplican como tales. Las pautas de regulación se están reevaluando continuamente para su actualización. Luego de que en 2002 se tomara la decisión en principio para la nueva planta de energía nuclear en Finlandia, STUK estableció un plan especial para actualizar las pautas más relevantes relacionadas con el diseño y construcción de un nuevo reactor. La mayoría de las actualizaciones planificadas de la Pauta YVL se emitieron durante los años 2002-2003, antes de solicitar el Permiso de Construcción. La actual lista de regulaciones y pautas de regulación se incluye en la página web de STUK en Inglés y contiene más de 60 Pautas YVL para seguridad nuclear. Existen Pautas ST distintas para la protección radiológica. Con respecto a la nueva modificación de los Decretos y

de la Ley de Energía Nuclear, se modificará el sistema de pautas de regulación. El fin del proyecto ha sido programado para el año 2011. Una de las metas es reducir el número de Pautas YVL, combinándolas en áreas más grandes. /9/

En Francia, un gran número de instalaciones nucleares están sujetas a dos tipos particulares de regulaciones:

- Procedimientos de otorgamiento de permisos
- Normas técnicas.

Además, las instalaciones cubiertas por las regulaciones para instalaciones clasificadas en terrenos de protección medioambiental, deben cumplir con procedimientos específicos cuando se ubican en el perímetro de una instalación nuclear de grandes dimensiones. La ASN puede tomar decisiones para complementar los procedimientos de implementación para los decretos y órdenes concernientes a la seguridad nuclear o protección radiológica, excepto aquellos que tratan con la medicina ocupacional. Las decisiones requieren la aprobación de los ministros responsables por la seguridad nuclear cuando se trata de una de sus preocupaciones, o por los ministros responsables de la protección radiológica cuando ésta es un tema de su incumbencia. Estas decisiones ASN se publican en su Boletín Oficial, disponible en línea en su sitio web. La ASN emite normas básicas de seguridad (RFS) sobre los distintos asuntos técnicos concernientes a las Plantas de Energía Nuclear y a otras instalaciones nucleares de grandes dimensiones. Estas normas son recomendaciones que definen los objetivos de seguridad y describen las prácticas que la ASN considera satisfactorias para alcanzar los objetivos. Estrictamente hablando, no son documentos de regulación. Una de las personas autorizadas podría decidir no cumplir con las estipulaciones de una norma básica de seguridad, siempre y cuando pueda demostrar que los objetivos de seguridad definidos por la norma pueden alcanzarse por los medios alternativos que propone implementar.

En Francia, la industria nuclear produce normas detalladas que tratan con prácticas industriales y de vanguardia. Reúne estas normas en “códigos industriales”. Estas normas permiten la transposición concreta de los requerimientos de las regulaciones técnicas generales, al tiempo que refleja una buena práctica industrial, facilitando las relaciones contractuales entre clientes y proveedores. En el campo particular de la energía nuclear, los códigos industriales utilizados por las personas autorizadas y constructores nucleares, son redactados por la AFCEN, la asociación francesa para normas sobre diseño, construcción, monitoreo en servicio de los sistemas de suministro de vapor nuclear, a la que pertenecen EDF y AREVA NP. Los códigos RCC (norma de diseño y construcción) fueron creados para el diseño, fabricación y puesta en servicio de equipos eléctricos (RCC-E, 4ª edición), estructuras de ingeniería civil (RCC-G) y equipos mecánicos (RCC-M, edición 2000). A contar de 1990, se creó un código de normas de monitoreo en servicio de equipos mecánicos (RSE-M) para tratar este tema. La producción de estos documentos es responsabilidad de la industria y no de ASN que, no obstante, los revisa para garantizar que cumplan con las regulaciones técnicas generales que, en la mayoría de los casos, conducen a la redacción de una RFS, una pauta o una decisión reconociendo su aceptación general en la fecha de la edición en cuestión. En el campo de los recipientes de presión de reactores nucleares, estos requerimientos cambiaron con la publicación de la orden del 12 de Diciembre de 2005, que implementa el decreto del 13 de Diciembre de 1999 sobre recipientes de presión. /10/

En la República de Corea, las normas industriales aplicables a las actividades nucleares son respaldadas por MOST y aplicadas al diseño y operación de instalaciones nucleares. Las pautas sobre revisiones de seguridad e inspecciones reguladoras, desarrolladas por KINS, una organización experta en regulación de seguridad, están siendo puestas en práctica. /11/

3.4 Sistema de otorgamiento de permisos

Por lo general, el sistema de regulación consiste en la aprobación del sitio y en los permisos de construcción, puesta en servicio, operación y desmantelamiento. Existe cierta variación entre los países respecto a la forma en que destacan el rol de la aprobación del sitio y a cómo han sincronizado el otorgamiento de permisos de operación. Algunos países proporcionan permisos de operación durante toda la vida útil proyectada de la planta, en tanto otros países proporcionan permisos para un período de tiempo más breve. También existe una diferencia respecto a quién otorga el permiso: gobierno, ministerio u organismo regulador. Por lo general, la Evaluación del Impacto Medioambiental y el permiso del sitio forman parte del esquema que corresponde a un paso importante en el proceso de otorgamiento de permisos.

En Argentina, el proceso regulador para el otorgamiento de permisos consiste en permisos de construcción, puesta en servicio, operación y desmantelamiento y está respaldado por documentos reguladores detallados, tales como normas AR 3.7.1 y AR 3.1.3 para permisos de construcción, incluyendo los requerimientos de documentación, AR 3.8.1 y AR 3.8.2 para la puesta en servicio y la norma AR 3.9.1 para permisos de operación, así como la norma AR 3.17.1 para permisos de desmantelamiento. El permiso de puesta en servicio establece las condiciones para la carga de combustible, operación de prueba con aumento de potencia hasta su valor nominal, incluidas las pruebas. El permiso de operación es un documento mediante el cual la ARN autoriza la operación comercial de una instalación nuclear bajo condiciones estipuladas. /4/

En Brasil, el proceso de otorgamiento de permisos incluye los roles de los dos organismos reguladores desde el punto de vista del medio ambiente y de la tecnología de seguridad nuclear de la planta. Se pone énfasis en la Evaluación del Impacto Medioambiental, en el proceso de audiencia pública y en la discusión local. /5/

La regulación NE 1.04 de CNEN para el otorgamiento de permisos, establece el proceso de evaluación y revisión necesario, incluyendo la especificación de la documentación que se presentará a CNEN en cada fase del proceso de otorgamiento de permisos. Finalmente, establece un sistema de inspecciones reguladoras y los correspondientes mecanismos de cumplimiento, para garantizar que se están respetando las condiciones del otorgamiento de permisos. Los mecanismos de cumplimiento incluyen la autoridad de CNEN para modificar, suspender o revocar el permiso. El proceso de otorgamiento de permisos se divide en varios pasos:

- Aprobación del sitio
- Permiso de construcción
- Autorización para la utilización de material nuclear
- Autorización para la operación inicial
- Autorización para la operación permanente
- Autorización para el desmantelamiento

La Ley Federal 9.756 fue aprobada en 1998 y establece impuestos y cargos para cada paso de otorgamiento de permisos, así como también para el trabajo rutinario de supervisión de la instalación por parte de CNEN.

Para el primer paso, se establecen los criterios de selección del sitio en la Resolución 09/69 CNEN, tomando en cuenta el diseño y los factores del sitio que podrían contribuir a la violación de los límites de dosis establecidos en el área de exclusión propuesta, para un accidente de limitación planteado. Además, adoptando el principio de "tecnología probada", la regulación NE 1.04 CNEN exige para la aprobación del sitio, la adopción de una "planta de referencia" para la autorización de la instalación nuclear.

Para el permiso de construcción, CNEN efectúa una evaluación y revisión detallada de la información recibida de la persona autorizada en un Informe Preliminar de Análisis de Seguridad (PSAR). La construcción es seguida de cerca por un sistema de inspecciones reguladoras. Para la autorización de operación inicial, CNEN revisa el estado de la construcción, el programa de puesta en servicio, incluyendo los resultados de las pruebas pre-operacionales y actualiza su evaluación y revisión del diseño de la planta en base a la información presentada en el Informe Final de Análisis de Seguridad (FSAR). En este punto, CNEN autoriza a los operadores del reactor de acuerdo con la regulación CNEN-NN-1.01. Las pruebas de aumento de potencia y puesta en servicio son seguidas de cerca por inspectores CNEN y se establecen puntos de retención en distintos niveles de potencia.

La autorización para una operación permanente, limitada a un máximo de 40 años, se concede luego de una completa revisión de los resultados de la prueba de puesta en servicio y de solucionar cualquier deficiencia identificada durante la construcción y la operación inicial. La autorización establece los límites y condiciones para operar y enumera los programas que deberán mantenerse activos durante la operación, como por ejemplo, el programa de protección radiológica, el programa de protección física, el programa de control de calidad de la operación, el programa de protección contra incendios, el programa de monitoreo medioambiental, el programa de calificación y capacitación, el programa de mantención preventiva, el programa de recapacitación, etc.

Los requerimientos de generación de informes también se establecen a través de la regulación CNEN-NN-1.14. Estos informes, junto con un sistema de inspecciones reguladoras efectuadas por inspectores residentes y personal de las oficinas centrales, son la base para la seguridad del monitoreo durante la operación de la planta. Otros organismos gubernamentales están involucrados en el proceso de otorgamiento de permisos a través de las consultas apropiadas. Los más importantes son el Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Instituto de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables - IBAMA), que está a cargo del otorgamiento de permisos medioambientales y la Coordinación de Programas Técnicos y Científicos del Ministerio de Ciencias y Tecnología (MCT), en lo relativo a aspectos de planificación de emergencia.

Otorgamiento de permisos medioambientales

IBAMA se creó a partir de la Ley N° 7.735 de 1989 al alero del Ministerio del Medioambiente (Ministério do Meio Ambiente - MMA), responsable de implementar y hacer cumplir la Política Nacional del Medio Ambiente (Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA) establecida por la Ley N° 6938/81. El

PNMA estableció el Sistema Nacional del Medio Ambiente (Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA), que está compuesto por el Consejo Nacional para el Medio Ambiente (Conselho Nacional para o Meio Ambiente - CONAMA) y las organizaciones ejecutivas a nivel federal, estatal y municipal. El organismo ejecutivo central para SISNAMA es IBAMA que, por lo tanto, es responsable del proceso de otorgamiento de permisos medioambientales de cualquier instalación con un impacto medioambiental potencialmente significativo. El proceso de otorgamiento de permisos medioambientales incluye los siguientes pasos:

- Permiso de pre-instalación, otorgado en la etapa de planificación preliminar, aprobación del emplazamiento y concepto general de la instalación, evaluación de su factibilidad medioambiental y establecimiento de los requerimientos y condiciones básicas para las próximas fases de implementación.
- Permiso de instalación, autorizando la construcción de la instalación de acuerdo con las especificaciones, programas y proyectos aprobados, incluyendo las medidas que se consideran esenciales para proteger el medio ambiente.
- Permiso para operar, autorizando la operación de la instalación luego de verificar el cumplimiento efectivo de las condiciones previas del permiso y la implementación eficaz de medidas para proteger el medio ambiente durante la operación.

Uno de los requerimientos para la emisión de un Permiso de Pre-instalación es el desarrollo de un Estudio de Evaluación del Impacto Medioambiental (EIA) y la preparación de un Informe del Impacto Medioambiental (RIMA). El RIMA se prepara para explicar el proyecto y evaluar otros sitios y tecnologías alternativas y para describir las actividades propuestas, a fin de permitir la participación pública y el análisis en conjunto con la comunidad legal de una manera eficaz.

La participación pública en el proceso de otorgamiento de permisos está garantizada por ley a través de la realización de audiencias públicas (Resolución 09/87 de la CONAMA). Uno de los requerimientos es la transparencia en el proceso, a través de la publicación en los diarios oficiales y prensa local de cualquier solicitud de permiso y la decisión de otorgarlo o no de los correspondientes organismos medioambientales. /5/

En Canadá, el proceso de otorgamiento de permisos es iniciado por una solicitud a la CNSC del organismo regulador. El sistema de otorgamiento de permisos de las CNSC es administrado en cooperación con las agencias y departamentos gubernamentales federales y provinciales, en áreas tales como salud, medio ambiente, transporte y mano de obra. Antes de que la CNSC emita permisos, se toman en cuenta las inquietudes y responsabilidades de estos departamentos y agencias. Los requerimientos de regulación de la CNSC se presentan en las Regulaciones sobre Instalaciones Nucleares Clase I de la CNSC. Estas regulaciones exigen permisos separados para cada una de las cinco etapas en el ciclo de vida de una Planta de Energía Nuclear: preparar un sitio, construir, operar, desmantelar y abandonar. Para las nuevas Plantas de Energía Nuclear, además de los cinco pasos para el otorgamiento de permisos, se debe llevar a cabo una Evaluación Medioambiental para identificar si el proyecto podría causar efectos medioambientales significativamente adversos. La Evaluación Medioambiental debe efectuarse antes de que cualquier autoridad federal emita un permiso o autorización, o emprenda cualquier otra acción con el propósito de permitir que el proyecto se lleve a cabo en forma total o parcial. El proceso de la CNSC para evaluar la solicitud de un permiso

según la NSCA, se describe en las Normas Procesales de la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear. Históricamente, los permisos de operación eran emitidos por un período renovable de dos años. En 2002, la CNSC introdujo períodos de permiso flexibles, con el objeto de poder regular las Plantas de Energía Nuclear de una manera más informada con relación al riesgo. Una solicitud de renovación del permiso debe contener información suficiente como para cumplir con los requerimientos regulatorios y demostrar que el solicitante está calificado para realizar la actividad autorizada. /6/

En EE.UU, existen dos enfoques alternativos con relación al otorgamiento de permisos. El enfoque tradicional, de conformidad con 10 CFR Parte 50, requiere dos pasos. En el primer paso, la NRC revisa una solicitud preliminar y decide si otorga un permiso de construcción. En el segundo paso, el organismo revisa la solicitud final y otorga un permiso para operar. La NRC autorizó a todas las plantas actualmente en operación en Estados Unidos, de acuerdo con este proceso. En 1989, la NRC estableció un sistema alternativo de otorgamiento de permisos, publicado en 10 CFR Parte 52, que proporciona diseños estándares certificados y permisos combinados, que solucionan los problemas de diseño antes de la construcción y permisos anticipados para el sitio, que resuelven la mayoría de los problemas de emplazamiento años antes de la construcción. 10 CFR Parte 52 estipula que los diseños del rector nuclear pueden aprobarse a través de una regulación genérica. Una vez que se aprueban los diseños, un solicitante puede hacer referencia a ellos en las solicitudes de permisos para construir y operar plantas de energía nuclear sin la necesidad de volver a litigar, en audiencias individuales, los asuntos resueltos con la creación de normas. Además, la NRC determinará y aprobará antes de la construcción, los criterios para evaluar si la planta ha sido construida de acuerdo a las especificaciones. Por lo tanto, la planta podría iniciar sus operaciones sin una segunda audiencia, siempre que haya cumplido con los criterios de aceptación. Dentro de lo posible, los asuntos se litigarán antes de la construcción, no cuando ésta prácticamente haya finalizado, cuando las consecuencias del retraso sean mucho peores. Al adoptar CFR Parte 52, la NRC utilizó la libertad otorgada por la ley para simplificar el proceso de otorgamiento de permisos. /7/

En España, el Gobierno está a cargo de la política energética. El Ministerio de Turismo, Industria y Comercio otorga permisos relacionados con instalaciones nucleares. El Consejo de Seguridad Nuclear entrega informes obligatorios sobre seguridad radiológica y nuclear. El proceso de otorgamiento de permisos ha sido descrito a nivel de regulación. /8/

En Finlandia, el proceso de otorgamiento de permisos se define en la legislación. Los permisos son otorgados por el Gobierno. El Ministerio de Economía y Trabajo se encarga de coordinar las actividades de otorgamiento de permisos, organiza las audiencias públicas, recolecta las declaraciones de los distintos organismos, prepara los documentos de otorgamiento de permisos y presenta al gobierno los problemas relativos a dicho otorgamiento, es decir, se encarga de las acciones administrativas relativas al otorgamiento de permisos. Existen cinco pasos en el proceso de otorgamiento de permisos: evaluación del impacto medioambiental, decisión en principio, permiso de construcción, permiso para operar y permiso de desmantelamiento. Las condiciones para el otorgamiento de un permiso se describen en la Ley de Energía Nuclear. La condición para la decisión en principio es que la operación de la instalación en cuestión respete el bienestar general de la sociedad.

Además, es necesario que se haya llevado a cabo el proceso de evaluación del impacto medioambiental. Otras condiciones son las siguientes:

- La municipalidad donde queda el sitio en el que se ubicará la instalación nuclear está a favor de la construcción de dicha instalación.
- No hay factores que indiquen una falta de pre-requisitos para la construcción de la instalación, de acuerdo a la Ley de Energía Nuclear: el uso de la energía nuclear debe ser seguro; no debe provocar lesiones a las personas ni daños al medioambiente o la propiedad.

La aplicación de la decisión en principio exige que se confirme por simple mayoría del parlamento. El Parlamento no puede efectuar cambios a la Decisión, sólo puede aprobarla o rechazarla tal como está.

Las partes involucradas en el proceso de otorgamiento de permisos y sus tareas se describen en la Figura 3. Este procedimiento se aplicó durante el período 2000 – 2002, cuando Teollisuuden Voima Oy aplicó una decisión en principio a la quinta unidad NPP en Finlandia y el Gobierno la aprobó, con la posterior confirmación del Parlamento. Teollisuuden Voima Oy solicitó un permiso para la construcción de la unidad Olkiluoto 3 al Ministerio de Economía y Trabajo en 2004. Los permisos de construcción que se envían a la STUK para su aprobación en esta fase, se definen como Decreto de Energía Nuclear. Luego de recibir todas las declaraciones para solicitar el permiso de construcción de la unidad Olkiluoto 3, el Gobierno tomó su decisión en 2005. El programa de otorgamiento de permisos se presenta en la Figura 4.

De acuerdo con el Decreto de Energía Nuclear, STUK supervisa la construcción de la instalación en detalle. El propósito es garantizar que los requerimientos de seguridad, regulaciones referentes a los equipos de presión y planes aprobados se cumplan y que la instalación nuclear se construya, en otros aspectos, de acuerdo con las regulaciones. En particular, la supervisión tiene por objeto verificar que se empleen en la construcción que los métodos de trabajo que garantizan una alta calidad.

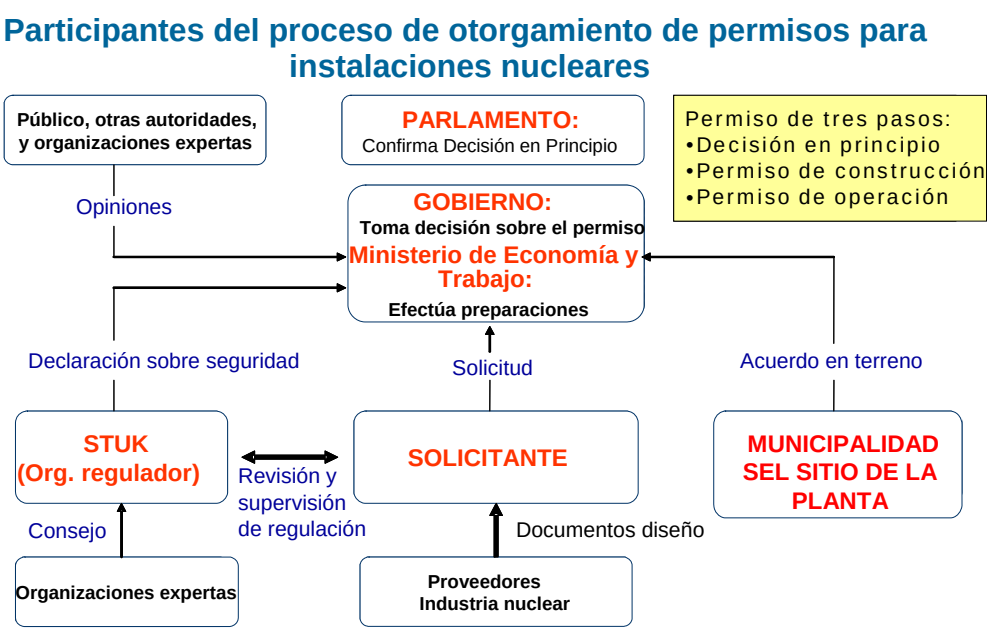


Figura 3. *Participantes del proceso de otorgamiento de permisos para instalaciones nucleares.*

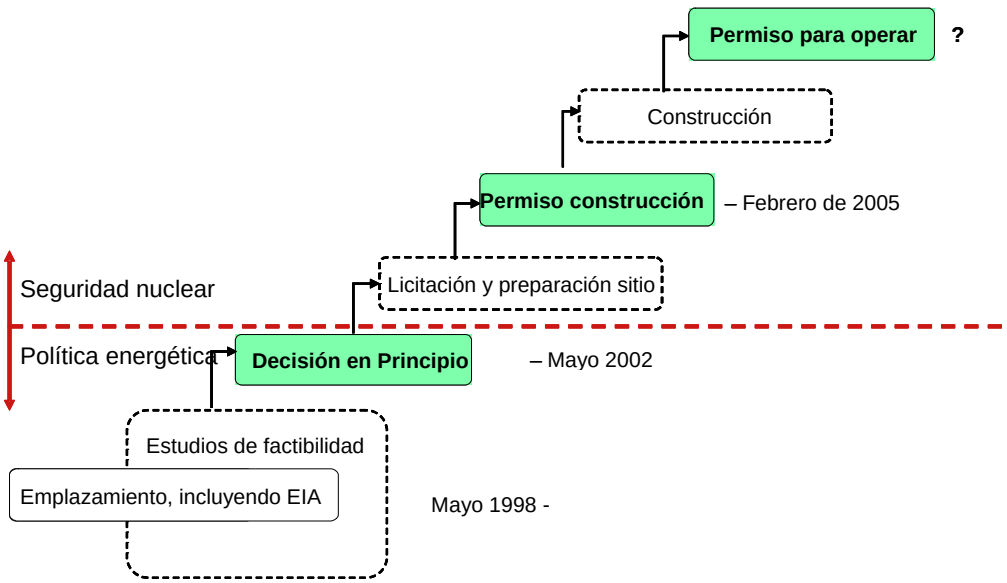


Figura 4. *Programa para el otorgamiento de permisos de la planta de energía nuclear Olkiluoto 3*.

Las distintas fases de construcción de una instalación nuclear pueden iniciarse sólo luego de que la STUK haya verificado los factores relacionados con la seguridad y que a las regulaciones de seguridad se les haya prestado la debida consideración. Esta evaluación puede realizarse como parte de la revisión del Informe Preliminar de Análisis de Seguridad o de las descripciones específicas para el sistema, que posteriormente se agregan al Informe Final de Análisis de Seguridad. Antes de cargar combustible en el reactor, se debe otorgar un permiso para operar. Los Permisos para Operar se otorgan por un período limitado de tiempo. En un comienzo este período era de cinco años y luego aumentó a aproximadamente diez años. El otorgamiento periódico de nuevos permisos ha entregado nuevas oportunidades para una revisión de seguridad exhaustiva y regular. Los actuales permisos para operar de las unidades Loviisa y Olkiluoto son válidos durante 20 años aproximadamente, pero se requieren evaluaciones de seguridad intermedias como condición para el permiso. /9/

En Francia, la ley estipula un procedimiento de autorización, seguido de una serie de permisos emitidos en las principales etapas que marcan la vida de una instalación nuclear de grandes dimensiones: construcción, puesta en servicio, cualquier modificación a la instalación, desmantelamiento y cierre final. Una persona autorizada que opera una planta sin haber obtenido los permisos correspondientes o incumpliendo dichos permisos, está expuesta a sanciones legales o administrativas, tal como se estipula en los artículos 41 al 52 de la ley de 2006.

De acuerdo con la constitución francesa, el gobierno, encabezado por el Primer Ministro, ejerce la facultad de regular. Por lo tanto, el gobierno es responsable de establecer las regulaciones técnicas generales concernientes a la seguridad

nuclear y a la protección radiológica. La ley 2006 también le asigna la responsabilidad de tomar decisiones importantes con relación a las instalaciones nucleares de grandes dimensiones. Los ministros responsables de la seguridad nuclear, como se estipula en la ley de 2006, son el Ministro de Economía, Hacienda y Trabajo y el Ministro de Ecología y Desarrollo Sostenido. Si es necesario, definen las regulaciones generales aplicables a las actividades nucleares sobre la base de una propuesta de la ASN. Toman un número limitado de decisiones individuales importantes concernientes a la autorización inicial y cierre de instalaciones nucleares de grandes dimensiones. /10/

En la República de Corea, los procedimientos para el otorgamiento de permisos para instalaciones nucleares se componen de dos pasos, el permiso de construcción y el permiso para operar, de conformidad con la Ley de Energía Atómica. El sistema de aprobación temprana del sitio se establece como una línea en la cadena de permisos de construcción, tal como se muestra en la Figura 5. Para el diseño estándar de las Plantas de Energía Nuclear (NPP) que han aumentado el nivel de seguridad, la eficacia de la regulación ha mejorado al establecer un nuevo sistema de otorgamiento de permisos, es decir, el Sistema de Aprobación de Diseño Estándar (SDA). El sistema SDA garantizará la validación del diseño estándar aprobado, sin imponer requerimientos de regulación adicionales durante un período de tiempo determinado y, básicamente, excluirá la revisión de seguridad para las porciones de las NPP que hacen referencia al diseño estándar aprobado.

Para comenzar un trabajo de construcción limitado en un sitio propuesto antes de emitirse el permiso, se enviará una solicitud de aprobación acompañada de un informe de estudio del sitio y de un informe medioambiental radiológico al Ministro de Ciencias y Tecnología. En base a los resultados de la revisión de seguridad efectuada por KINS, el Ministro otorgará la aprobación oficial. El objetivo de la revisión de seguridad es evaluar la idoneidad de un sitio nuclear y el impacto radiológico en el entorno que rodea la instalación nuclear. El Ministerio del Medioambiente está a cargo de analizar los impactos medioambientales que no son de naturaleza radiológica.

Para obtener un permiso de construcción para una instalación nuclear, se enviará al Ministro de Ciencias y Tecnología una solicitud de permiso de construcción, acompañada del informe medioambiental radiológico, del informe preliminar de análisis de seguridad y del programa de control de calidad para la construcción. En base a los resultados de la revisión de seguridad efectuada por KINS, el Ministro emitirá un permiso de construcción. La revisión de seguridad de la solicitud de un permiso de construcción se lleva a cabo para confirmar que el sitio y el diseño preliminar de la instalación nuclear cumplen con los requerimientos de regulación y con las correspondientes pautas técnicas. Incluye revisiones de seguridad del principio y concepto del diseño de la instalación del reactor, la implementación de los criterios de regulación en su debido curso, la evaluación de los efectos medioambientales producto de la construcción y una propuesta para minimizar dichos efectos. El informe medioambiental radiológico que se presentará junto con la solicitud de un permiso para construir, así como también para la aprobación temprana del sitio, deberá contener la opinión del público perteneciente al área que rodea la instalación nuclear, la que se obtendrá a través de una audiencia pública, de ser necesario.

Para obtener un permiso para operar una instalación nuclear, se deberá enviar al Ministro de Ciencias y Tecnología una solicitud acompañada de

especificaciones técnicas operacionales, el informe final de análisis de seguridad, el programa de control de calidad para la operación y el informe medioambiental radiológico. En base a los resultados de la revisión de seguridad efectuada por KINS y a los resultados de las inspecciones pre-operacionales, el Ministro emitirá el permiso para operar luego de la deliberación de la NSC. /11/

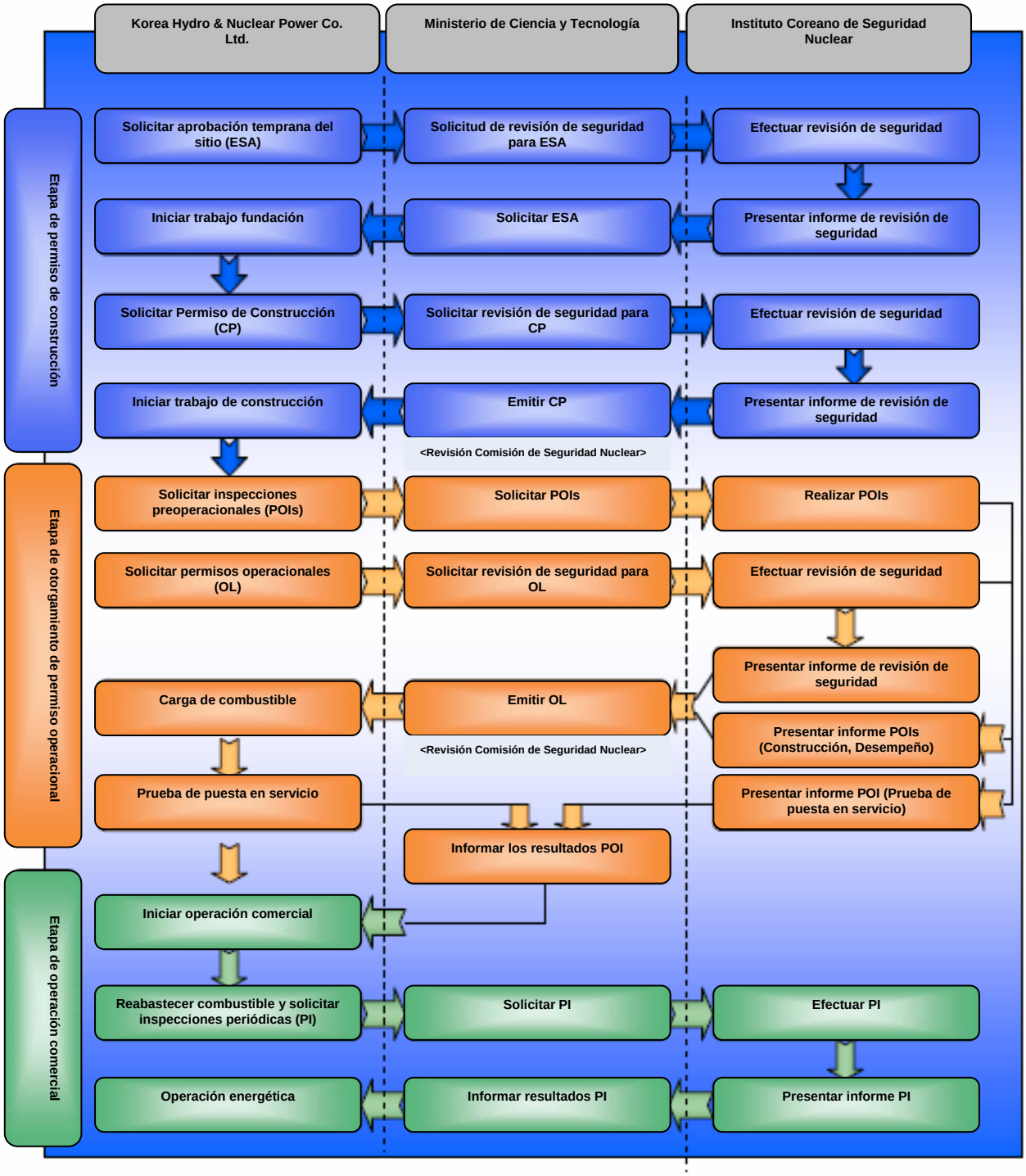


Figura 5. Proceso de otorgamiento de permisos en la República de Corea /11/.

3.5 Estructura de organización gubernamental

En base al Convenio sobre Seguridad Nuclear, el tema clave en la disposición del gobierno es que el organismo regulador para la seguridad radiológica y nuclear se separe efectivamente de las organizaciones que promueven el uso de energía nuclear. Existen varias posibilidades para disponer la separación efectiva. El Anexo 2 presenta las disposiciones organizativas gubernamentales de los organismos reguladores para la seguridad radiológica y nuclear en los países de referencia. El informe comparativo de regulación OECD / NEA del año 2001/12/, proporciona información detallada sobre organizaciones reguladoras a nivel de gobierno y de regulación en países OECD.

En Argentina, la AR, el organismo regulador, informa al Secretario del Poder Ejecutivo Nacional. **En Brasil**, el organismo regulador, la Comisión Nacional de Energía Nuclear - CNEN, opera bajo el control del Ministerio de Ciencias y Tecnología, y el Instituto del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables – IBAMA, opera bajo el control del Ministerio del Medio Ambiente. La Comisión de Seguridad Nuclear **Canadiense** opera bajo el control del parlamento, a través del Ministro de Recursos Naturales, que presenta los temas al Gobierno cuando es necesario. La Comisión de Regulación Nuclear (NRC) **en EE.UU.** opera independientemente, bajo el control del Presidente y del Gobierno. /4-7/

En España, varias autoridades desempeñan la función reguladora. El Gobierno está a cargo de la política energética y anuncia las regulaciones obligatorias. El Ministerio de Turismo, Industria y Comercio otorga los permisos relacionados con las instalaciones nucleares y presenta las propuestas para el desarrollo de las actuales regulaciones. El Consejo de Seguridad Nuclear proporciona informes obligatorios sobre seguridad radiológica y nuclear. /8/

En Finlandia, el organismo regulador, Autoridad Radiológica y Nuclear – STUK, opera bajo el control del Ministerio de Asuntos Sociales y Salud. Esta disposición recalca la independencia del organismo regulador con relación a la promoción de la energía nuclear. El Ministerio de Economía y Trabajo es el organismo administrativo para el uso de energía nuclear y administra el proceso de otorgamiento de permisos. STUK proporciona, sobre la base de la Ley de Energía Nuclear, la declaración sobre seguridad nuclear que es obligatoria (derecho a veto) para los efectos del otorgamiento de permisos. En lo que respecta a la respuesta de emergencia, el Ministerio del Interior es responsable de la defensa pública. STUK es un organismo experto en asuntos relacionados con la seguridad radiológica y nuclear. /9/

En Francia, el Parlamento está involucrado en la seguridad nuclear y en la protección radiológica, especialmente a través de la aprobación de leyes. El parlamento cuenta con una oficina para la evaluación de las opciones científicas y tecnológicas que comprenden dieciocho MPs y dieciocho Senadores. La oficina es responsable de informar al Parlamento sobre las consecuencias de las opciones científicas o tecnológicas, para principalmente ayudarle en sus decisiones. El informe anual del organismo regulador ASN se presenta a la oficina en una sesión pública. De acuerdo con la constitución francesa, el gobierno, encabezado por el Primer Ministro, ejerce la facultad de regulación. Por lo tanto, el gobierno es responsable de establecer las regulaciones técnicas generales referentes a la seguridad nuclear y protección radiológica. La ley

2006 también le asigna la responsabilidad de tomar decisiones importantes respecto a las instalaciones nucleares. Se exige consultar a la ASN respecto a los decretos reguladores provisionales y órdenes sobre seguridad nuclear. También tiene acceso a organismos consultores, tales como el comité consultivo para instalaciones nucleares básicas, el comité superior para información y transparencia de la seguridad nuclear y el consejo superior para la salud pública. El gobierno es responsable de la protección civil en caso de emergencias. Los ministros responsables de la seguridad nuclear, tal como se estipula en la ley de 2006, son el ministro de Economía, Hacienda y Trabajo y el ministro de Ecología y Desarrollo Sostenido. Si es necesario, definen las regulaciones generales aplicables a las actividades nucleares en base a la propuesta de la ASN. Bajo la autoridad conjunta de los ministros responsables de la seguridad nuclear y la protección radiológica, se ha establecido una unidad para asistirlos. La unidad se ubica al interior del Ministerio de Economía, Hacienda y Trabajo. Los prefectos son los representantes del Estado y los garantes del orden público en el departamento bajo su responsabilidad. Son responsables de la seguridad civil, de las medidas preventivas aplicables a la población y de las medidas de emergencia en caso de un accidente. Estas medidas les son propuestas por la ASN. /10/

En la República de Corea, el Ministerio de Ciencias y Tecnología (MOST por sus siglas en inglés), que corresponde al organismo regulador de seguridad nuclear, cuenta con la total autoridad y responsabilidad por las regulaciones de seguridad, incluyendo la emisión de permisos y autorizaciones para instalaciones nucleares y está libre de la intervención de otros Ministerios en el área de regulación de seguridad. El Ministro que se une a la Comisión de Energía Atómica como un miembro de oficio, participa en la toma de decisiones sobre las principales políticas nacionales relacionadas con el desarrollo y utilización de energía nuclear. La relación del organismo regulador con las organizaciones responsables de la promoción y utilización de energía nuclear es la siguiente: MOST desempeña las funciones reguladoras para la construcción y operación de instalaciones nucleares. MOST también opera la Comisión de Seguridad Nuclear, una organización independiente, para aumentar la objetividad en la regulación de la seguridad. /11/

3.6 Organismo regulador y sus funciones y estructura organizativa

El organismo regulador deberá contar con la adecuada autoridad, competencia y recursos humanos para cumplir con las responsabilidades que se le han asignado.

En esencia, la norma GS-R-1 sobre Requerimientos de Seguridad de la IAEA, presenta requerimientos similares en su artículo 2.2 /13/. La norma GS-R-1 sobre Requerimientos de Seguridad de la IAEA, presenta un modelo de organización ideal en los capítulos 4 y 5, en base a las funciones (actividades) del organismo regulador. La IAEA también ha publicado pautas más detalladas sobre las funciones de regulación, tales como autorización, revisión y evaluación, inspección y aplicación, desarrollo de regulaciones y respuesta de emergencia, etc. /14 - 17/.

La norma GS-R-1 sobre Requerimientos de Seguridad de la IAEA, exige lo siguiente con relación a los mecanismos legislativos y gubernamentales de los Estados:

- Se deberá establecer y mantener un organismo regulador que será efectivamente independiente de las organizaciones u organismos encargados de la promoción de tecnologías nucleares o responsables de las instalaciones o actividades.
- Al organismo regulador se le deberá asignar la responsabilidad de la autorización, revisión y evaluación reguladora, inspección y cumplimiento y establecimiento de principios, criterios, regulaciones y pautas de seguridad.
- El organismo regulador deberá contar con la adecuada autoridad y poder y deberá garantizarse que cuenta con el personal y los recursos financieros adecuados para delegar sus responsabilidades asignadas.
- Al organismo regulador no se le deberá asignar otra responsabilidad que pueda poner en riesgo o entrar en conflicto con la responsabilidad de regular la seguridad.

La independencia efectiva de la promoción de energía nuclear ha sido tratada en el capítulo 3.5. La reciente tendencia en algunos organismos reguladores ha sido combinar la regulación de seguridad radiológica y nuclear para aumentar la eficiencia y mejorar la cooperación. Las funciones claves son presentadas por la Norma de Seguridad GS-R-1 de la IAEA y se enumeraron con anterioridad. Cómo organizar el organismo regulador para desempeñar las funciones en las principales áreas, tales como seguridad radiológica, nuclear y de desechos, así como también la seguridad nuclear, el control de material nuclear y la respuesta de emergencia, no es una tarea trivial, puesto que se necesitan muchas disciplinas técnicas, tales como ingeniería civil, ingeniería mecánica, automatización, ingeniería eléctrica, física y dinámica de reactores, análisis determinista de accidentes, análisis probabilístico de riesgos, evaluación medioambiental, etc. Como las diversas soluciones de regulación lo demuestran, las prácticas son muchas, incluyendo a los organismos reguladores centralizados, la distribución de tareas entre varios organismos reguladores y la utilización efectiva de las Organizaciones de Seguridad Técnica, como respaldo técnico. En algunos casos, las actividades de investigación también se incluyen en la organización reguladora o viceversa (ej.: CNEN en Brasil y STUK en Finlandia).

A continuación, se describen situaciones a nivel país para proporcionar ejemplos. Por lo general, en países grandes con un extenso programa nuclear, el organismo regulador está encabezado por un grupo de comisionados (EE.UU., Francia, Canadá). En países más pequeños con programas nucleares pequeños, los comisionados no son tan comunes, pero el organismo regulador a menudo utiliza los poderes del gobierno o los ministerios. Además, la estructura organizativa depende del tamaño del programa nuclear y de las diversas tareas reguladoras, así como también de otros deberes no regulatorios anexos al organismo regulador, debido al desarrollo organizativo histórico. Generalmente, el número de expertos en el organismo regulador para la supervisión del programa de energía nuclear varía entre 50 y 100 en pequeños países. En países más grandes con extensos programas nucleares, el número de expertos reguladores es mayor, dependiendo del tamaño del programa. La Tabla II muestra la situación de los empleados en los organismos reguladores y, específicamente, lo referente a la supervisión de la seguridad de la planta de energía nuclear en los países de referencia /4 - 12/. Los números no son totalmente comparativos, debido a que algunas organizaciones también desempeñan otras actividades y, en algunos casos, los deberes relacionados con la evaluación e inspección se presentan de manera separada y en otros casos combinados.

Tabla II. Número aproximado de empleados de los organismos reguladores. /4-12/

Organismo regulador	Empleados	Supervisión NPP
ARN, Argentina	300	60
CNEN, Brasil	2600	50
CNSC, Canadá	600	130
NRC, EE.UU.	2800	330
CNS, España	400	120
STUK, Finlandia	350	100
ASN, Francia	400	120
MOST + KINS, República de Corea	70 + 380	40 + 320

Por lo general, el organismo regulador necesita de organizaciones de seguridad técnica para efectuar evaluaciones de seguridad y actividades de inspección dedicadas. Ej.: la realización de análisis deterministas de seguridad, análisis probabilísticos de riesgos requiere de sofisticados modelos computacionales y expertos dedicados. A menudo, el organismo regulador no cuenta con suficientes habilidades o capacidades para desempeñar dicho trabajo. Por lo tanto, las organizaciones de seguridad técnica son necesarias para entregar respaldo técnico al organismo regulador. Buenos ejemplos de dichas organizaciones son el IRSN, que brinda respaldo a la ASN en Francia, el Centro de Investigación Técnica de Finlandia (VTT), que respalda a la STUK en Finlandia y KINS que respalda a MOST en la República de Corea.

En Argentina, la ARN cuenta con más de 300 empleados, 80% son profesionales y técnicos. Aproximadamente 55 personas participan en actividades de regulación relativas al control de plantas de energía nuclear. La ARN es administrada por un Directorio (3). La estructura de la ARN se muestra en el Anexo 2. /4/

En Brasil, la CNEN se creó en 1956 para asumir la responsabilidad por todas las actividades nucleares en Brasil. Posteriormente, la CNEN se reorganizó y sus responsabilidades se establecieron a través de la Ley 4118/62, con modificaciones determinadas por las Leyes 6189/74 y 7781/89. Luego, la CNEN se transformó en el Organismo Regulador, encargado de regular, autorizar y controlar la energía nuclear. Desde el año 2000, la CNEN está bajo el control del Ministerio de Ciencias y Tecnología (Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT). /5/

Las responsabilidades de la CNEN incluyen, entre otras:

- Preparación y emisión de regulaciones sobre seguridad nuclear, protección radiológica, administración de desechos radioactivos y protección física.
- Contabilidad y control de materiales nucleares (medidas de seguridad);
- Otorgamiento de permisos y autorización de emplazamiento, construcción, operación y desmantelamiento de instalaciones nucleares.
- Inspección regulatoria de reactores nucleares.
- Actuar como una autoridad nacional para la implementación de acuerdos y tratados internacionales relativos a actividades de seguridad nuclear.
- Participar en la preparación para emergencias nucleares a nivel nacional.

De conformidad con este marco, la CNEN ha emitido regulaciones de protección radiológica y regulaciones para el proceso de otorgamiento de permisos de las plantas de energía nuclear, seguridad durante la operación, control de calidad, otorgamiento de permisos para el personal operacional y su certificación médica para servicio activo, requerimientos de generación de informes para plantas de energía nuclear, mantenimiento de la planta y otros. (Ver anexo 1)

La separación efectiva entre las funciones del organismo regulador (CNEN) y la organización encargada de la promoción y utilización de energía nuclear para generación de electricidad (ELCTRONUCLEAR), es proporcionada por la estructura del Gobierno Brasileño en esta área. Si bien la CNEN está ligada al Ministerio de Ciencias y Tecnología (MCT), ELECTRONUCLEAR es de propiedad total de ELETROBRAS, un holding empresarial nacional para el sistema eléctrico, que está bajo el control del Ministerio de Minería y Energía (MME). La estructura de la CNEN se presenta en el Anexo 2.

La principal unidad organizativa involucrada en el otorgamiento de permisos a plantas de energía nuclear es la Dirección de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear (DRS), aunque los recursos técnicos pueden obtenerse de cualquiera otra unidad en respaldo a algunas actividades de otorgamiento de permisos. La revisión y evaluación es efectuada principalmente por la Coordinadora del Reactor (CODRE) de la Coordinadora General para Rectores y Ciclo de Combustible (CGRC). CODRE también está a cargo de la inspección reguladora de las plantas de energía nuclear, que incluyen un grupo de inspectores residentes en el sitio de Angra (SEIRA). En las áreas de protección radiológica y monitoreo medioambiental, el respaldo técnico se obtiene del Instituto de Protección Radiológica y Dosimetría (IRD). Las normas y regulaciones necesarias son desarrolladas por los grupos de trabajo, que son establecidos y administrados por la División de Normas (DINOR).

Los recursos humanos adecuados se proporcionan a CNEN. En CNEN y sus institutos de investigación trabaja un total de 2657 empleados, de los cuales 85% corresponde a personal técnico. Cuarenta y ocho por ciento (48%) de los empleados son universitarios graduados, 16% posee una maestría y 15% un doctorado. CGRC se compone de 86 personas, 75 de las cuales son técnicos.

CODRE, la unidad directamente involucrada en el otorgamiento de permisos y control de las plantas de energía nuclear, cuenta con 52 empleados, de los cuales 48 son técnicos, 19 poseen un doctorado y 23 una maestría en ingeniería o ciencias nucleares. En 2007, 5 personas participaron en un doctorado y 2 en una maestría. Las principales actividades son la revisión y evaluación de la documentación presentada y la inspección de las actividades de las personas autorizadas. Las actividades de inspección son realizadas de manera permanente por un grupo de inspectores residentes en el sitio de la planta de energía. Para inspecciones específicas y actividades de auditoría, se cuenta con el respaldo de los especialistas de las oficinas centrales. Durante 2003-2006, la CNEN efectuó 29 inspecciones en Angra 1, 29 en Angra 2 y 27 inspecciones relativas a toda la organización de la planta. Para complementar las actividades en terreno, se realiza un seguimiento a la operación en base a los informes de las personas autorizadas, tal como lo exige la regulación CNEN-NN.1.14.

El personal técnico CODRE recibe capacitación específica y capacitación general sobre energía nuclear de acuerdo con el campo de trabajo, incluyendo capacitación académica y asistencia a cursos, visitas técnicas, participación en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Durante el año 2006, el personal CODRE también asistió a varios cursos de capacitación externa.

Los recursos financieros para la CNEN provienen directamente del presupuesto del Gobierno. Desde 1998, los impuestos y derechos se están cobrando a las personas autorizadas, pero estos ingresos se deducen de los fondos del Gobierno asignados a la CNEN. Los sueldos del personal de la CNEN están sujetos a la administración y políticas del Gobierno Federal. En la actualidad, existen dos importantes inquietudes con relación a los sueldos y al personal técnico: i) la mayoría de los empleados está cerca de la edad de jubilación; ii) los sueldos son inferiores a los del personal de empresas de energía equivalentes.

IBAMA
El proceso de otorgamiento de permisos medioambientales para instalaciones nucleares es iniciado por la Dirección para el Otorgamiento de Permisos y Calidad Medioambiental, más específicamente por su Coordinadora General para el Otorgamiento de Permisos Medioambientales. Esta Coordinadora tiene un equipo técnico multidisciplinario de aproximadamente 50 profesionales, alguno de los cuales está dedicado al otorgamiento de permisos para plantas de energía nuclear. Para el proceso de otorgamiento de permisos medioambientales de Angra 2, IBAMA trabaja en estrecha cooperación con la CNEN en lo referente a los aspectos ligados al impacto radiológico. Ambos también cooperan con la Fundación del Estado de Río de Janeiro de Ingeniería Medioambiental (FEEMA) y el Secretario Municipal de Angra dos Reis para el Medio Ambiente. /5/

En Canadá, la CNSC contaba con aproximadamente 600 empleados al 31 de Marzo de 2007. La CNSC cuenta con tres unidades importantes: Operaciones, Asuntos Regulatorios y Servicios Corporativos. La unidad de Operaciones es responsable de regular el desarrollo, producción y uso de la energía nuclear, así como también la producción, posesión, transporte y uso de sustancias nucleares y dispositivos de radiación. La unidad de Operaciones se ha organizado para enfocarse en la regulación de distintos sectores de la industria nuclear. La unidad de Operaciones tiene las siguientes subunidades:

- Regulación del Reactor Nuclear
- Regulación de Instalaciones y Ciclo Nuclear
- Regulación de Sustancias Nucleares
- Evaluación y Análisis
- Normas y Administración de Seguridad
- Seguridad y Medidas de Protección
- Evaluación y Protección Radiológica y Medioambiental
- Mejoramiento del Programa de Regulación

La División de Otorgamiento de Permisos del Nuevo Reactor en DPRR se creó en 2006, para garantizar que la CNSC cuente con personal dedicado y un liderazgo adecuado para la planificación, administración y evaluación de las solicitudes de permiso para el nuevo reactor. La división encabezará el desarrollo del marco regulatorio, así como también el desarrollo de un plan para evaluar las solicitudes de permisos para nuevos reactores.

La CNSC recibe financiamiento del Parlamento. La mayoría de los costos incurridos por concepto de actividades regulatorias de la CNSC, son recuperados por el Gobierno de Canadá gracias a los permisos de conformidad con las Regulaciones sobre Derechos de Recuperación de Costos de la CNSC. La estructura de la CNSC se muestra en el Anexo 2. /6/

En EE.UU., el estado de la Comisión como organismo regulador independiente dentro de la Rama Ejecutiva del Gobierno Federal, significa que sus decisiones reguladoras no son influenciadas por el Congreso o por el Presidente. La independencia del proceso de toma de decisiones de la NRC implica una equiparación de la responsabilidad de los Comisionados y sus empleados personales, para mantener el proceso de toma de decisiones libre de influencias externas inadecuadas. La estructura de la NRC se muestra en el Anexo 2.

La estructura de la NRC abarca a la Comisión, las oficinas y los comités asesores. La NRC es encabezada por una Comisión compuesta por cinco miembros. El Presidente designa a un miembro para que cumpla la función de Presidente y vocero oficial. La Comisión, en general, formula políticas y regulaciones que rigen la seguridad de los materiales y del reactor nuclear, emite órdenes a las personas autorizadas y resuelve asuntos legales que le hayan planteado. El Director Ejecutivo de Operaciones formula políticas y toma las decisiones de la Comisión, además de dirigir las actividades de las oficinas del programa.

Las oficinas bajo el mando del Director Ejecutivo de Operaciones supervisa el uso comercial de materiales nucleares en Estados Unidos. *La Oficina de Regulación del Reactor Nuclear* es responsable de cumplir con los puntos claves de la misión de seguridad del reactor nuclear de la NRC. Lleva a cabo una amplia variedad de actividades reguladoras en las cuatro áreas principales del programa (toma de decisión, otorgamiento de permisos, supervisión y respuesta a incidentes), para reactores comerciales de energía nuclear y reactores experimentales y de prueba, con el fin de proteger la salud pública, la seguridad y el medio ambiente. *La Oficina de Nuevos Reactores* es responsable de cumplir con los puntos claves de la misión de seguridad del reactor nuclear de la NRC, para instalaciones del nuevo reactor autorizadas de conformidad con 10 CFR Parte 52. Es responsable de las actividades reguladoras en las principales áreas del programa (emplazamiento, otorgamiento de permisos y supervisión) para los nuevos reactores nucleares comerciales.

La Oficina de Medidas de Protección y Seguridad del Material Nuclear, es responsable de las actividades reguladoras que logran la producción segura del combustible nuclear utilizado en los rectores nucleares comerciales; del almacenamiento, transporte y eliminación segura de desechos radioactivos de alto nivel y combustible nuclear ya procesado y del transporte de materiales radioactivos regulado de conformidad con la Ley de Energía Atómica. *La Oficina de Seguridad Nuclear y Respuesta a Incidentes* desarrolla una política de agencia general y proporciona dirección administrativa para analizar y evaluar los problemas técnicos que involucran la seguridad y la preparación para emergencias en las instalaciones nucleares. *La Oficina de Investigación Nuclear Reguladora* planifica, recomienda y conduce programas de investigación para identificar, encabezar y patrocinar revisiones que respalden la resolución de problemas de seguridad, actuales y futuros.

Las cuatro *oficinas regionales* están a cargo de los programas de respuesta de emergencia, cumplimiento e inspección para las personas autorizadas dentro de sus límites. La *Oficina de Cumplimiento* supervisa, administra y dirige el desarrollo e implementación de políticas y programas para el cumplimiento de los requerimientos de la NRC. Supervisa los programas de administración de denuncias de la agencia y el proceso de revisión de denuncias. La oficina es responsable de los asuntos relativos a la cultura de política de seguridad externa. La *Oficina de Investigaciones* desarrolla políticas, procedimientos y normas de control de calidad para investigaciones de personas autorizadas y solicitantes, así como también sus contratistas o proveedores, incluyendo la investigación de todas las denuncias sobre infracciones cometidas por contratistas y empleados externos a la NRC.

La Oficina de Programas Federales y Estatales de Administración Medioambiental y de Materiales, es responsable de las comunicaciones efectivas y relaciones de trabajo entre la NRC y otras entidades gubernamentales y administra el Programa de Acuerdo de Estado (a través del cual los Estados han firmado acuerdos formales con la NC, para asumir responsabilidades de regulación sobre ciertos subproductos, fuentes y pequeñas cantidades de material nuclear especial). También desarrolla e implementa normas y pautas para el uso seguro de fuentes, subproductos y materiales nucleares especiales en actividades industriales, médicas, académicas y comerciales y durante el desmantelamiento, recuperación de uranio y sitios de desechos de bajo nivel.

La NRC estaba reclutando anualmente cerca de 400 empleados para los próximos años, debido a que se esperaba que, al iniciarse el otoño de 2007, llegaran cerca de dos docenas de solicitudes de permisos para el nuevo reactor. La NRC está trabajando para cumplir con el desafío de reclutar, contratar, capacitar e integrar nuevos empleados a la infraestructura necesaria para respaldar sus actividades. /7/

En España, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) es independiente del Gobierno, está al mando del Parlamento en lo que respecta al desarrollo de sus actividades, e interactúa con el Gobierno a través del Ministerio Turismo, Industria y Comercio. La estructura organizativa se presenta en el Anexo 2. /8/

Existen unidades que están bajo el mando directo de la Secretaría General, tales como Planificación, Sistemas de Información y Calidad, Personal y Administración, Asuntos Legales y Normas Técnicas. Las principales funciones que se relacionan con la seguridad de instalaciones nucleares se agrupan bajo la Dirección Técnica, incluidas tres subunidades para Instalaciones Nucleares, Tecnología Nuclear e Ingeniería. La Dirección Técnica para Protección Radiológica se encarga de la inspección y control de instalaciones radioactivas, de la protección radiológica de los trabajadores, de la administración de desechos radioactivos de nivel intermedio y bajo, de la protección radiológica del público y del medioambiente, así como también de las emergencias radiológicas. Cuenta con tres subunidades: protección Radiológica Medioambiental, protección Radiológica Operacional y Emergencias. También existen Comisiones para regulaciones, comunicaciones y capacitación, e Investigación y Desarrollo, etc.

Los recursos económicos se obtienen principalmente mediante la recolección de derechos y aranceles públicos, de conformidad con la Ley 14/1999 sobre Derechos y Aranceles Públicos para servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

En Finlandia, la STUK está bajo el control administrativo del Ministerio de Asuntos Sociales y Salud. Las conexiones con los ministerios y organizaciones gubernamentales se describen en el Anexo 2. Se recalca que el control regulador del uso seguro de la energía nuclear y radiológica es ejercido, de manera independiente, por la STUK. La STUK no tiene responsabilidades o derechos que pudiesen entrar en conflicto con el control regulador. STUK tiene la autoridad legal para ejercer un control regulador. Las responsabilidades y derechos de la STUK, con respecto a la regulación del uso de energía nuclear, se establecen en la Ley de Energía Nuclear. Abarcan la revisión y evaluación de seguridad de las solicitudes de permisos y el control regulador de la construcción y operación de instalaciones nucleares. El control regulador de las plantas de energía nuclear se describe en detalle en la Pauta YVL 1.1 /18/. STUK tiene, por ej., derechos legales para exigir modificaciones a las plantas de energía nuclear, limitar la potencia de las plantas y exigir el cierre de una planta, si fuese necesario por razones de seguridad. La STUK no otorga permisos de operación o construcción para instalaciones nucleares. Sin embargo, en la práctica ninguna de esos permisos se emitiría sin la declaración de la STUK confirmando el cumplimiento de las regulaciones de seguridad.

Se ha establecido por Decreto un Comité Asesor de Seguridad Nuclear. Este Comité asesora a la STUK en lo referente a regulaciones y asuntos de seguridad importantes. Además, se ha establecido un Comité Asesor de Seguridad Radiológica para prestar ayuda al Ministerio de Asuntos Sociales y Salud. Los miembros de estos Comités son nominados por el Gobierno.

La comunicación pública de la STUK es proactiva, abierta, oportuna y comprensible. La comunicación es un privilegio y derecho de todos los empleados. Se coloca énfasis en la buena cooperación con los medios en toda comunicación. Los medios y el público en general pueden comunicarse con los expertos STUK en cualquier momento, incluyendo noches, fines de semana y feriados. Un pre-requisito para una comunicación exitosa es que la STUK sea conocida entre los medios y público en general y que la información proporcionada por ésta se considere fidedigna. La comunicación siempre se basa en la mejor información disponible. Incluso los asuntos delicados se comunican abiertamente. El sitio web de la STUK es una importante herramienta de comunicación. Es importante que las páginas web se editen profesionalmente y actualicen de manera regular. La información que aparece en las páginas web debe ser comprensible y fácil de encontrar. La comunicación interna le proporciona al personal información sobre las actividades de la STUK y respalda su capacidad durante la participación en comunicaciones externas.

La estructura organizativa y las responsabilidades al interior de la STUK se incluyen en sus Manuales de Calidad. En los Manuales también se incluyen los procesos de control regulador y otras actividades de la STUK. La organización de STUK se describe en el Anexo 2.

La STUK recibe aproximadamente 40% de sus recursos financieros a través del presupuesto del gobierno. Los costos de control regulador se cobran en su

totalidad a las personas autorizadas. La estrategia de financiar el trabajo de control regulador se modificó en 2000, para adoptar el denominado modelo de presupuesto de red. Esto significa que las personas autorizadas pagan los derechos de control regulador directamente a la STUK. Este enfoque respecto al financiamiento de las actividades reguladoras medioambientales, se transformó en una práctica común en Finlandia en los años noventa. El cambio fue analizado y discutido detenidamente por las partes involucradas. La conclusión fue que, considerando las antiguas tradiciones y la estabilidad del monto asignado al control regulador, no se preveía un temor a perder la objetividad requerida. Además, se reconoció claramente que los montos cobrados estarían continuamente bajo el control del Ministerio de Asuntos Sociales y Salud. El monto tentativo del presupuesto para control regulador se acuerda anualmente con el Ministerio. El cambio en el procedimiento de financiamiento no ha modificado los costos reales de las actividades de control regulador. En 2006, los costos del control regulador de la seguridad nuclear ascendieron a 10,1 millones de euros. Los costos totales de la regulación de seguridad nuclear ascendieron a 11,1 millones de euros. Por lo tanto, el porcentaje de actividades sujetas a un cobro fue de 91%. La STUK cuenta con recursos adecuados para desempeñar sus responsabilidades. Actualmente, cerca 100 profesionales trabajan en el área del control regulador de la seguridad de la panta de energía nuclear.

Desde 2003 se ha reclutado a nuevos empleados, principalmente para las actividades de inspección y de revisión y evaluación de seguridad relativas a la unidad Olkiluoto 3 de la nueva planta nuclear. Los recursos humanos totales necesarios para la revisión y evaluación de las solicitudes de Permiso de Construcción eran de aproximadamente 35 años hombre; cerca del 70% correspondía a trabajos de revisión de la STUK y 30% a trabajos de revisión de las Organizaciones de Soporte Técnico. Desde entonces, el volumen anual de supervisión de la construcción ha sido de aproximadamente 25 años hombre.

La competencia de seguridad nuclear ha sido el punto de interés de la administración en STUK. El trabajo estratégico de la STUK incluye la definición de las competencias básicas necesarias para la supervisión. La implementación de la estrategia se refleja en los programas de capacitación anual, en la capacitación en el lugar de trabajo y en los nuevos reclutamientos. La STUK ha participado en la preparación y ejecución de un curso básico de capacitación profesional sobre seguridad nuclear con otras organizaciones del rubro. El primer curso de 6 semanas se inició en Septiembre de 2003 y continuó en 2004. Desde entonces, el curso se ha repetido cada año con la participación anual de unos 50 recién llegados al campo nuclear. Los contenidos y la estructura del curso han mejorado de acuerdo a la retroalimentación recibida de los participantes. La evaluación del curso fue realizada por importantes expertos en 2007.

Los conocimientos técnicos de la STUK abarcan todas las áreas esenciales necesarias para el control de seguridad del uso de energía nuclear. Si es necesario, la STUK ordena análisis independientes de las organizaciones de respaldo técnico para complementar su propio trabajo de revisión y evaluación. La principal organización de respaldo técnico de la STUK corresponde al Centro de Investigación Técnica de Finlandia (VTT). El Servicio Geológico de Finlandia (GTK) y la Universidad de Helsinki son importantes Organizaciones de Respaldo Técnico en el campo de la investigación de desechos nucleares y, respectivamente, la Universidad Tecnológica de Lappeenranta (LUT) en el

campo de investigación nuclear. Además, se ha recurrido a expertos y organizaciones internacionales de respaldo técnico.

En 2000 se evaluó la independencia del respaldo técnico de la STUK. La evaluación incluyó auditorías de calidad a las cinco unidades de investigación. El Centro de Investigación Técnica de Finlandia (VTT) es la principal organización de respaldo técnico de la STUK. Las auditorías fueron realizadas por Qualitas Fennica Ltd. Éstas se concentraron en las actividades y procesos de trabajo esenciales para la seguridad nuclear y las investigaciones relativas a la seguridad. No se descubrieron problemas de independencia en estas auditorías. Por otra parte, un elemento esencial en este respecto son los conocimientos técnicos internos de STUK, que proporcionan independencia al momento de llegar a una conclusión en base a los resultados de la investigación. Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados de la auditoría, se han mejorado los sistemas de calidad de estas unidades de investigación, tomando en consideración el punto de vista de la STUK respecto a la independencia requerida con relación a los proyectos de investigación orientados a los servicios. En 2001 se realizaron dos auditorías de seguimiento. A fines de 2001 se realizó una auditoría de calidad similar en el Servicio Geológico de Finlandia (GTK). Esto significa que se han evaluado todas las principales organizaciones de respaldo de la STUK.

Los programas nacionales de administración de desechos y seguridad nuclear, juegan un papel importante en la creación de competencias de todas las organizaciones esenciales involucradas en la energía nuclear. Estos programas de investigación tienen dos roles: en primer lugar, garantizar la disponibilidad de expertos y, en segundo lugar, garantizar la transferencia en línea de los resultados de investigación a las organizaciones que participan en la dirección de los programas y promueven los conocimientos técnicos. STUK desempeña un importante papel en la dirección de estos programas. En Finlandia, el VTT es la organización de investigación más grande en el campo de la energía nuclear. En el VTT, unos 200 expertos están trabajando en el campo de la energía nuclear. La cifra total invertida en investigación de la energía nuclear en el año 2006 fue de 28,5 millones de euros. Este monto también incluye la investigación efectuada por GTK, LUT y la Universidad Tecnológica de Helsinki (TKK). La Ley de Energía Nuclear se modificó en 2003, con el objeto de garantizar el financiamiento de una investigación de largo plazo de la administración de desechos nucleares y seguridad nuclear en Finlandia. El dinero se cobra anualmente a los titulares del permiso y se coloca en un fondo especial. El monto es proporcional a la potencia térmica de la planta autorizada o a la potencia térmica presentada en la decisión en principio. Para la investigación de desechos, los pagos son proporcionales a los pagos para futuras actividades de administración de desechos efectuados al Fondo de Desechos Nucleares. Los proyectos de investigación se seleccionan para respaldar y desarrollar las competencias en seguridad nuclear. Los temas claves del reciente programa de investigación (SAFIR2010) son el comportamiento del reactor, las propiedades de la contención y la administración del proceso de envejecimiento de la planta de energía nuclear. También hay proyectos de investigación en el campo de la evaluación de la cultura de seguridad de una organización. El monto recolectado en el año 2007 fue de 2,7 millones de euros para investigaciones de seguridad nuclear. Los proyectos de investigación también cuentan con financiamiento adicional proveniente de otras fuentes. El monto total del programa en 2007 fue de 6 millones de euros. De igual forma, se está desarrollando un programa nacional

de investigación en el área de administración de desechos nucleares (KYT2010), para respaldar a las autoridades. El monto anual del programa KYT2010 es de 1 millón de euros. La STUK participa en la dirección de los programas. En 2006, la participación del programa nacional de investigación de seguridad del reactor financiado públicamente fue de 17% del monto total de la investigación e, igualmente, la participación del programa nacional de administración de desechos financiado públicamente, fue de 4% del monto total. Todas las organizaciones importantes de respaldo técnico participan en los programas de investigación. /9/

En Francia, la ASN es administrada por una Comisión compuesta por cinco comisionados, designados por decreto debido a su competencia en los campos de la protección radiológica y la seguridad nuclear. Tres de los comisionados, incluido el Presidente, son designados por el Presidente Francés. Los otros dos comisionados son designados por el presidente de la Asamblea Nacional (cámara baja del Parlamento Francés) y por el presidente del Senado (cámara alta), respectivamente. Los comisionados de la ASN ejercen sus funciones a tiempo completo. El Director General de la ASN, bajo la autoridad del Presidente, organiza y ejecuta los servicios centrales de la ASN y sus once divisiones regionales. Los departamentos de servicios centrales de la ASN tienen que cumplir con la tarea de producir regulaciones técnicas generales y coordinar el trabajo de los equipos regionales, responsables de la supervisión reguladora en lo que respecta a las instalaciones y actividades. Cada entidad ASN contribuye en su propia área de competencia, entregando información al público con relación a la seguridad nuclear y radioprotección radiológica.

Las divisiones regionales de la ASN operan bajo la autoridad de los representantes regionales, designados por el Presidente de la ASN. Las divisiones llevan a cabo gran parte de la supervisión reguladora directa de las instalaciones nucleares, el transporte de materiales radioactivos y las actividades nucleares de pequeña escala. Analizan la mayoría de las solicitudes de permiso presentadas con relación a estas actividades. Respaldan a los servicios centrales ASN en su análisis de las principales decisiones. En casos de emergencia, asisten al prefecto del départements, responsable de la protección de la población. Finalmente, los representantes regionales, tal como lo dice su nombre, representan al Presidente en regiones. Con el respaldo de las divisiones, contribuyen con la tarea de información pública de la ASN.

Hacia fines de 2006 los recursos humanos totales de la ASN eran de 412 empleados, la mitad de ellos en servicios centrales y la otra mitad en las divisiones regionales. Desde el año 2000, todo el personal y los recursos operacionales involucrados en el desempeño de las tareas encomendadas a la ASN, han estado cubiertos por el presupuesto general del Estado. El presupuesto de costo total de la ASN para el año 2007 fue de aproximadamente 54 millones de euros, incluyendo 32,4 millones de euros para costos por concepto de personal. Como se estipuló en la ley de 2006, la ASN se apoya en el IRSN en lo referente a conocimientos técnicos especializados, con el respaldo de una investigación, si es necesario. El presupuesto para este trabajo fue de 71 millones de euros en 2007, del presupuesto total de 247 millones de euros.

La ASN confía en los conocimientos especializados de las organizaciones de respaldo técnico (TSO) al momento de tomar sus decisiones. El IRSN (Instituto

de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear) es la principal TSO. Hace ya unos años, la ASN ha estado siguiendo la política de diversificación del proveedor de respaldo técnico, tanto a nivel nacional como a nivel internacional. El IRSN se creó como un establecimiento público independiente, como parte de la reorganización nacional de la regulación de seguridad nuclear y protección radiológica, a fin de consolidar los conocimientos públicos especializados y los recursos de investigación en estos campos. El instituto conduce e implementa programas de investigación, diseñados para basar la capacidad de evaluación pública experta, a nivel nacional, en los más avanzados conocimientos científicos internacionales en estos campos y para contribuir al desarrollo de conocimientos científicos especializados sobre los peligros nucleares y radiológicos. Se le ha encomendado una misión de respaldo técnico para las autoridades públicas competentes en lo que respecta a seguridad nuclear, seguridad y protección radiológica, tanto en el campo civil como en el campo de la defensa. El decreto que estableció el IRSN le asigna ciertas tareas de servicio público fuera del ámbito de las investigaciones, específicamente en lo que respecta al monitoreo del medio ambiente y de las personas expuestas a la radiación ionizante. En particular, estas tareas incluyen la capacitación de protección radiológica, administración de bases de datos nacionales (inventario nacional de materiales nucleares, archivo nacional de fuentes radioactivas, archivo SISERI sobre exposición de trabajadores a radiación ionizante, etc.), así como también ayudar a informar al público sobre los peligros ligados a la radiación ionizante.

Al preparar sus decisiones, la ASN se basa en las opiniones y recomendaciones de los comités asesores de expertos y en la sección nuclear permanente del comité central para recipientes de presión. Por decisión del Presidente de la ASN, se han establecido cuatro comités asesores (GPE) de expertos y funcionarios públicos al mando del Director General de la ASN. Éstos analizan los problemas técnicos relacionados con la seguridad y derivados de la autorización inicial, puesta en servicio, operación y cierre de instalaciones nucleares y sus auxiliares, además del transporte de materiales radioactivos. Cada GPE puede solicitar a cualquier persona reconocida por una competencia determinada. Puede sostener audiencias con los representantes de las personas autorizadas. La participación de expertos extranjeros puede ayudar a diversificar el enfoque con relación a los problemas y aprovechar al máximo la experiencia adquirida internacionalmente. Actualmente, la ASN está formando dos nuevos comités asesores para tratar problemas relativos a la protección radiológica; uno de ellos se enfoca específicamente en los problemas de protección de pacientes. La programación y los resultados del trabajo de los comités asesores están siendo seguidos con especial atención por la ASN y por la administración de IRSN. Tres veces al año se organizan reuniones de coordinación y análisis para contribuir con el mejoramiento continuo de la calidad técnica y la consistencia de sus opiniones, que son elementos claves para la ASN.

La supervisión reguladora de la ASN abarca instalaciones nucleares, equipos de instalación, operadores, métodos de trabajo y organización, desde el inicio del proceso de diseño hasta el desmantelamiento. La ASN analiza los pasos adoptados con relación a la seguridad y los procedimientos para administración de desechos, monitoreo de descarga de efluentes y protección medioambiental. La ASN garantiza la aplicación de las regulaciones referentes a la protección de las personas contra la radiación ionizante. Al igual que con la seguridad nuclear, este trabajo continúa durante toda la vida útil de las instalaciones

nucleares. Consiste en garantizar que la persona autorizada tome todas las medidas para el monitoreo y limitación de las dosis recibidas por los trabajadores. La ASN verifica el cumplimiento de estas normas, mediante inspecciones dedicadas y revisando los casos específicos.

Muchos sistemas de instalaciones nucleares contienen o transportan líquidos presurizados y, posteriormente, están sujetos a las regulaciones de recipientes de presión. La ley de 2006 estipula que la ASN regula el cumplimiento de las normas generales y requerimientos especiales concernientes a la seguridad nuclear y a la protección radiológica, aplicables a la construcción y utilización de recipientes de presión BNI. De los recipientes de presión sujetos a la regulación y supervisión de la ASN, los principales sistemas primarios y secundarios PWRs EDF son particularmente importantes. Como en condiciones normales operan a altas temperaturas y presiones, su comportamiento en servicio es una de las claves para la seguridad de las Plantas de Energía Nuclear. Por consiguiente, la ASN regula estos sistemas muy de cerca. La operación de los recipientes de presión está sujeta a la supervisión reguladora que abarca, en particular, los programas de monitoreo en servicio, pruebas no destructivas, trabajos de mantenimiento, procesamiento de incumplimientos que afectan los sistemas y recalificaciones periódicas de éstos. /10/

En la República de Corea, la misión principal del Ministerio de Ciencias y Tecnología (MOST) es garantizar la adecuada protección de la salud pública y el medio ambiente contra los peligros radiológicos que puedan acompañar el uso pacífico de la energía nuclear. Incluye, por ejemplo, las siguientes funciones importantes:

- Establecer políticas de regulación y seguridad nuclear.
- Analizar y evaluar la información de seguridad de las instalaciones nucleares.
- Emitir, modificar o revocar los permisos para la construcción y operación de las instalaciones nucleares.
- Efectuar inspecciones reguladoras.
- Establecer requerimientos reguladores y normas técnicas.
- Emprender las acciones necesarias para garantizar el cumplimiento, cuando se haya registrado el incumplimiento de los requerimientos reguladores.
- Garantizar las capacidades de respuesta de emergencia apropiadas.
- Garantizar que se mantengan los registros de exposición radiológica ocupacional.
- Proporcionar al público información sobre seguridad nuclear.

El ministerio es responsable de desempeñar las siguientes funciones adicionales:

- Operar el programa de monitoreo radiológico medioambiental a nivel nacional
- Iniciar y coordinar el desarrollo e investigación de seguridad nuclear.

El MOST asume la responsabilidad de desarrollar los criterios de aceptación para la construcción y operación de la instalación nuclear, desarrollar las normas técnicas para medidas de seguridad operacional y garantizar el cumplimiento en cada etapa del emplazamiento, diseño, construcción, puesta en servicio, operación y desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

Como se muestra en el Anexo 2, jerárquicamente el Vice Ministro y el Director General a cargo de la Oficina de Energía Atómica, se ubican directamente debajo del Ministro en la organización. La Oficina de Energía Atómica se compone de 5 divisiones y 1 equipo: la División de Política Energética Atómica, la División de Cooperación de Energía Atómica, la División de Seguridad Nuclear, la División de Seguridad Radiológica, la División de Emergencia Nuclear y el Equipo de Control Nuclear. Sesenta y seis son las personas que participan en las actividades nucleares, 40 de ellas son responsables de la regulación de seguridad. Las funciones de las 3 divisiones a cargo de la regulación de seguridad de las instalaciones nucleares son las siguientes:

- División de Seguridad Nuclear
  - Establecer la política básica sobre seguridad nuclear
  - Coordinar y controlar las actividades de regulación de seguridad nuclear
  - Establecer y aplicar las normas técnicas de seguridad nuclear
  - Emitir permisos para instalaciones nucleares
  - Emitir los permisos para operadores y operadores senior de reactores
  - Efectuar inspecciones
- División de Seguridad Radiológica
  - Establecer y coordinar medidas para la protección radiológica
  - Formular y aplicar las normas técnicas para la seguridad radiológica
  - Autorizar y supervisar la producción y uso de materiales nucleares, radioisótopos y dispositivos generadores de radiación
  - Autorizar y supervisar la construcción y operación de instalaciones de eliminación de desechos radioactivos
  - Efectuar inspecciones
  - Cumplir con la misión de cierre y desmantelamiento de instalaciones nucleares
  - Controlar los permisos de los supervisores de radioisótopos y materiales nucleares
- División de Emergencia Nuclear
  - Administrar y evaluar los ejercicios de emergencia radiológica
  - Dirigir y supervisar la evaluación del impacto medioambiental radiológico en torno a las instalaciones nucleares
  - Monitorear y evaluar la radiación medioambiental a nivel nacional
  - Operar el centro de administración de emergencia nuclear central
  - Establecer y operar el sistema de monitoreo de operación segura de la planta de energía nuclear
  - Respaldar el establecimiento del sistema de respaldo, a nivel nacional, de exámenes médicos y tratamiento en caso de una emergencia radiológica
  - Controlar y coordinar la educación y capacitación de los empleados a cargo de las emergencias radiológicas
  - Llevar a cabo la administración general de peligros radiológicos
- Inspectores Residentes en los sitios de la Instalación Nuclear
  - Efectuar inspecciones diarias e informar a la oficina central sobre el estado de la construcción y de las plantas de energía nuclear en operación
  - Presenciar las inspecciones efectuadas por la empresa de energía a instalaciones relacionadas con el reactor y los materiales nucleares
  - Confirmar las actividades de control de seguridad en el sitio y las medidas correctivas
  - Respaldar las actividades de inspección KINS en el sitio
- Centro de Administración de Emergencias lejos del sitio

- Adquirir y notificar la información, además de controlar y administrar prontamente las emergencias radiológicas
- Coordinar las actividades de respuesta de emergencia lejos del sitio
- Cumplir la función de centro de información integrada
- Coordinar con las Oficinas Centrales de Operaciones de Emergencia de la empresa de energía

La Comisión de Seguridad Nuclear (NSC) se establece bajo la jurisdicción del Ministro de Ciencias y Tecnología, a fin de manejar como sigue los asuntos importantes concernientes a la seguridad nuclear, de conformidad con la Ley de Energía Atómica:

- Control de seguridad nuclear
- Regulación de reactores y materiales nucleares
- Protección contra peligros debido a exposición radiológica
- Planificar la estimación y distribución de gastos para el control de la seguridad nuclear
- Investigación para el control de la seguridad nuclear
- Incentivar y capacitar a investigadores e ingenieros en el área de la seguridad nuclear
- Administración de seguridad de desechos radioactivos
- Medidas contra accidentes radiológicos
- Otros asuntos considerados importantes por el presidente.

La NSC, que es presidida por el Ministro de Ciencias y Tecnología, se compone de 8 miembros, incluyendo 7 que fueron designados o nombrados por el Ministro. La Comisión organiza un Comité Especial de Seguridad Nuclear para investigar técnicamente los asuntos bajo su jurisdicción. Este Comité se compone de 25 expertos o menos y, para su operación efectiva, actualmente están operando un total de 5 subcomités.

El Instituto Coreano de Seguridad Nuclear (KINS) comenzó a funcionar como una organización experta independiente en 1990, de acuerdo con la “Ley del Instituto Coreano de Seguridad” y se encarga de los asuntos sobre regulación de seguridad nuclear, como le fuera encomendado por el MOST. Sus principales funciones, relevantes para la regulación de seguridad nuclear, son las siguientes:

- Efectuar revisiones de seguridad con relación al otorgamiento de permisos y a la aprobación de instalaciones nucleares
- Efectuar inspecciones reguladoras durante la fabricación, construcción y operación de instalaciones nucleares
- Llevar a cabo la investigación y desarrollo de las normas técnicas de regulación de seguridad para instalaciones nucleares
- Analizar los permisos para la manipulación de materiales nucleares y radioisótopos y la operación de instalaciones nucleares
- Recibir y procesar notificaciones relevantes para las formalidades referentes al otorgamiento de permisos
- Efectuar análisis e inspecciones de garantía de calidad.

KINS también se hace responsable de diversas actividades, tales como el desarrollo de tecnología de regulación de seguridad nuclear, respaldo técnico a MOST en lo que respecta al desarrollo de políticas y protección radiológica, administración de información sobre regulación de seguridad y monitoreo y evaluación de radioactividad medioambiental. El KINS cuenta con 6 divisiones, 2 grupos y 32 departamentos y equipos, tal como se muestra en el Anexo 2, a fin de promover la eficacia y profesionalismo de las actividades reguladoras. En el año 2006, el KINS se componía de 380 empleados, de los cuales 320 eran expertos técnicos. El presupuesto está cubierto por una evaluación especial

efectuada por las empresas de energía relevantes y por subsidios gubernamentales de acuerdo con la Ley de Energía Atómica.

El Instituto Coreano de Investigación de Energía Atómica (KAERI) suscribió un acuerdo de cooperación con KINS para la investigación de seguridad nuclear en Septiembre de 2002. El Centro de Capacitación Nuclear, bajo el control del KAERI y, tal como se lo encomendara el MOST, efectúa la capacitación de las personas designadas para hacerse cargo de la manipulación de materiales combustibles nucleares y del control de seguridad radiológica. La Asociación Coreana de Radioisótopos (KRIA), tal como se lo encomendara MOST, es responsable de mantener el registro nacional de exposición radiológica ocupacional y de volver a capacitar a los trabajadores expuestos a la radiación. El Instituto Coreano de Control y No Proliferación Nuclear (KINAC) se estableció en 2006 para, tal como se lo encomendara MOST, establecer medidas de seguridad, controlar la exportación e importación de materiales nucleares, velar por la protección física y llevar a cabo la investigación y desarrollo de las correspondientes instalaciones y materiales nucleares. /11/

3.7 Sistema de generación de electricidad

La capacidad de la planta de energía instalada en los países de referencia va de 16,6 GWe en Finlandia (2004) a 978,0 GWe en EE.UU. (2005) (ver Tabla III). La capacidad total instalada en Chile, 13,5 GWe a fines de 2006, se encuentra debajo de ese rango. Además, hay cuatro sistemas de red eléctrica que abarcan diversos territorios del país. Significa que el tamaño de la red será uno de los factores limitantes para el tamaño máximo de una posible planta nuclear. Una norma comúnmente aplicada es que el tamaño de una sola planta de energía debería ser inferior al 10% de la capacidad total de red instalada.

Tres tendencias simultáneas han influido en el desempeño del mercado de electricidad en los países de referencia. La primera tendencia se relaciona con la eliminación de regulaciones innecesarias del mercado de electricidad y con la apertura del mercado. La secunda tendencia se relaciona con la privatización de las compañías estatales y la cotización de sus acciones en la bolsa. La tercera tendencia es la desintegración de la estructura vertical de aquellas compañías de electricidad que se encargan tanto de la generación como de la transmisión y distribución. Estas tendencias se han influenciado entre sí. Los países de referencia se encuentran en distintas fases en lo que se refiere al progreso de acuerdo a dichas tendencias.

Tabla III. Capacidad instalada, generación de electricidad y porcentaje de energía nuclear de la generación total en los países de referencia (Fuente: IAEA)

País	**Cap. instalada** 2004*/2005 GWe	**Generación. electricidad** 2004*/2005 TWh	**Energía Nuclear** 2007 %
Argentina	30,6*	99,7*	6,2
Brasil	91,5	400,6	2,8
Canadá	120,1*	593,4*	14,7
EE.UU.	978,0	4054,7	19,4
España	76,4*	277,3*	17,4

Finlandia	16,6*	84,9*	28,9
Francia	115,5	575,4	76,9
Rep. de Corea	62,3	364,6	35,3

En Argentina, todo el sistema de producción, consistente en compañías eléctricas independientes, binacionales o provinciales y extranjeras interconectadas, trabaja en un mercado desregulado supervisado por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico, CAMMESA. Las compañías de transmisión garantizan a terceros un acceso libre a la red eléctrica. Los distribuidores deben proporcionar el exceso de electricidad si tienen una capacidad extra. Debido a sus características monopólicas, los sistemas de transmisión y distribución de energía están regulados. El mercado del usuario final se divide en segmento regulado y segmento no regulado. El umbral de consumo mínimo para acceder al mercado abierto es de 1 MWe.

En Brasil, el sistema eléctrico presenta como sus principales peculiaridades, una gran extensión de líneas de transmisión y un sistema de generación de electricidad predominantemente hidráulico. La generación y transmisión de electricidad ha sido operada por las subsidiarias ELETROBRAS, que han sido parcialmente privatizadas y algunas de las compañías eléctricas estatales ubicadas dentro de los límites geográficos de los estados. Los estados cuentan con una mezcla de compañías estatales y privadas para la distribución de electricidad. La excepción es el estado de Tocantins recientemente fundado, donde la electricidad es suministrada por una compañía privada. Los distribuidores tienen que comprar electricidad en el entorno de contratación regulada, a través de subastas de precio mínimo.

En Canadá, la industria de la electricidad se organiza a lo largo de líneas provinciales. En la mayoría de las provincias la industria está integrada con el grueso de la generación, transmisión y distribución proporcionada por unas pocas compañías eléctricas dominantes. Si bien es cierto algunas de estas compañías eléctricas son privadas, la mayoría corresponde a corporaciones en poder de las provincias. Las compañías de electricidad provinciales son responsables del suministro eléctrico y toman decisiones acerca del tipo de tecnología que se utilizará para la generación de electricidad; también son responsables de construir, operar y mantener las instalaciones de energía provinciales, incluidas las instalaciones nucleares.

En España, hay cuatro grandes productores de electricidad: Endesa, Iberdrola, Unión Eléctrica e Hidroeléctrica del Cantábrico. Además, hay “productores especiales” que generan energía eléctrica utilizando energías de cogeneración (producción de calor y electricidad) o viento, biomasa y desechos. Una compañía dedicada, Red Eléctrica de España, S.A. (REE), es responsable del transporte de electricidad y la distribución de carga. REE es propiedad de los principales productores de electricidad, inversionistas privados y el Estado Español. La "Compañía Operadora del Mercado Español de Electricidad" (Operadora del Mercado) está a cargo de la administración del sector eléctrico desde el punto de vista económico.

En EE.UU., la industria de la energía eléctrica es una combinación de compañías de electricidad tradicionales y entidades de producción, transmisión, distribución y comercialización de electricidad menos tradicionales. Las compañías de electricidad incluyen empresas en poder de inversionistas, públicas, federales y cooperativas. La continua desregulación de la industria

incentivó la aparición de muchos tipos de distribuidores y productores de energía no relacionados con compañías eléctricas.

En Finlandia, el sistema de electricidad está ampliamente descentralizado y tiene una organización diversa. Los principales tipos de dominio son: (i) empresas de energía controladas por el estado y parcialmente privatizadas; (ii) empresas industriales y (iii) empresas de distribución municipales y de otro tipo. El sistema es parte del sistema interconectado de energía nórdico, juntos con los sistemas en Suecia, Noruega y Dinamarca. Además, existe una conexión de corriente directa desde Rusia a Finlandia. La transmisión de electricidad es administrada por una compañía de red responsable del sistema, Fingrid Oy, propiedad de dos importantes productores, el gobierno finlandés e inversionistas institucionales. Las actividades de red regionales y de distribución son responsabilidad de las compañías de electricidad, que tienen permiso para operar sus redes a través de la autoridad correspondiente. Todos los consumidores finales pueden obtener electricidad de cualquier lugar en el mundo, sin restricciones.

En Francia, Electricité de France (EDF) es la principal operadora para la producción y distribución. Opera y es dueña de toda la energía nuclear y de parte del combustible fósil quemado y plantas de energía hidráulica. Además, sólo unos cincuenta proveedores más pequeños operan en el mercado francés. La operadora de red de transmisión, Réseau de Transport d'Electricité, ha sido individualizada al interior de EDF y administra el sistema de despacho de carga de manera independiente. Existen cerca de 160 compañías de distribución que son de propiedad conjunta o de las municipalidades.

En la República de Corea, gran parte de la capacidad generadora es controlada por las subsidiarias de Korea Electric Power Corporation (KEPCO). Existen seis subsidiarias (GENCOs). Una de ellas, Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd (KHNP) es responsable de las plantas de energía nuclear. Además, existen unos cuantos productores de energía independientes (IPPs). De acuerdo con el plan de reestructuración anunciado en 1999, KEPCO dividirá el sector de distribución de energía en varias compañías de distribución y abrirá la red de transmisión para garantizar un acceso abierto a empresas privadas. Sin embargo, en 2004 el gobierno decidió colocar el plan en espera.

3.8 Plantas de energía nuclear en operación y en construcción

Los reactores de aguas livianas, el reactor de agua presurizada (PWR) y el reactor de agua hirviendo (BWR), son los tipos de reactores dominantes de las plantas de energía nuclear operables en los países de referencia, tal como se muestra en la Tabla IV. Los reactores de aguas densas, CANDU y el Reactor Presurizado de Aguas Densas (PHWR) están operando en Argentina, Canadá y República de Corea. Hay un reactor de regeneración rápida (FBR) en operación en Francia.

Existen variaciones en la estandarización de las plantas. La estandarización se ha estado aplicando más extensamente en Francia. EE.UU. ha tenido otro enfoque. Prácticamente todas las 104 plantas en operación son distintas entre sí.

Los factores de capacidad promedio durante la vida útil por unidad país al 2007 en los países de referencia iban de 69% (Brasil) a 91% (Finlandia).

En los países de referencia, se están construyendo seis PWR, uno en Finlandia, uno en Francia, uno en EE.UU., tres en la República de Corea y un PHWR en Argentina.

Tabla IV. Número de reactores en operación en los países de referencia y factores de capacidad promedio durante la vida útil por unidad país al 2007 (Fuente: IAEA PRIS)

País	**BWR**	**PWR**	**CANDU**	**PHWR**	**FBR**	**Total**	**Capacidad %**
Argentina			1	1		2	81
Brasil		2				2	69
Canadá			18			18	76
EE.UU.	35	69				104	78,6
España	2	6				8	84,6
Finlandia	2	2				4	91,3
Francia		58			1	59	78,7
República de Corea		16	4			20	86,7
Total	39	153	23	1	1	217	

En Argentina, desde comienzos de 1984 existen dos plantas de energía nuclear (Atucha I y Embalse) en operación. Atucha I es un PHWR (335 MWe) entregado por la compañía Alemana Siemens AG. Embalse es una CANDU (600 MWe) entregada por un consorcio de Atomic Energy of Canada Ltd (AECL) y la compañía italiana de construcción, Italimpianti.

En 2006 el gobierno decidió reiniciar la construcción de Atucha II.

En Brasil, hay dos PWRs (Angra 1 y Angra 2) en operación. Angra 1 (626 MWe) entregado por Westinghouse y puesto en servicio en 1984. Angra 2 (1270 MWe) fue entregado por Siemens/KWU y puesto en servicio en 2001.

En Canadá, hay 18 unidades Candu en operación en cuatro sitios: Bruce (seis unidades), Darlington (cuatro unidades), Gentilly (una unidad), Pickering (seis unidades) y Point Lepreau (una unidad). Fueron puestas en servicio entre 1971 y 1993. La potencia eléctrica neta de salida de las unidades varía entre 515-878 MWe.

En EE.UU., hay 104 plantas de energía nuclear (35 BWRs y 69 PWRs) en operación. Fueron puestas en servicio entre 1971 y 1996. La potencia eléctrica neta de salida de las unidades varía entre 512-1314 MWe. Todas las unidades BWR son entregadas por General Electric. La mayoría de las unidades PWR son entregadas por Westinghouse. Babcock&Wilcox y Combustian Engineering han entregado siete y trece unidades PWR respectivamente.

En España, hay ocho plantas de energía nuclear (dos BWRs y seis PWRs) en operación en seis sitios. Fueron puestas en servicio entre 1971 y 1988. La potencia eléctrica neta de salida de las unidades varía entre 446-1064 MWe. Todas las unidades BWR son entregadas por General Electric. Westinghouse y Siemens/KWU han entregado cinco y una unidad PWR respectivamente.

En Finlandia, hay cuatro plantas de energía nuclear en operación. Dos PWR idénticos y dos unidades BWR idénticas se ubicaban en los sitios Loviisa y Olkiluoto, respectivamente. Las unidades fueron puestas en servicio a fines de los setenta y comienzos de los ochenta. Las unidades PWR (488 MWe) fueron

entregadas por la compañía rusa Atomstroyexport. Las unidades BWR son entregadas por la compañía suiza Asea Atom (Westinghouse luego de la fusión).

Hay una unidad PWR (EPR, 1600 MWe) en construcción en el sitio Olkiluoto.

En Francia, hay 58 unidades PWR y una unidad FBR (233 MWe) en operación. La flota PWR incluye tres diseños estandarizados: 900 MWe, 1300 MWe y 1450 MWe (N4). Han sido entregadas por Framatome ANP (ahora AREVA NP) y puestas en servicio entre 1977 y 2000. La unidad FBR fue puesta en servicio en 1974.

Hay una unidad PWR (EPR, 1600 MWe) en construcción en el sitio Flamanville.

En la República de Corea, hay 16 unidades PWR y cuatro unidades Candu en operación. Las unidades PWR se ubican en tres sitios (Kori, Ulchin y Yonggwang). Su potencia eléctrica neta de salida es entre 573 y 993 MWe. Las primeras unidades PWR fueron entregadas por Combustion Engineering and Framatome ANP. La industria coreana fue la encargada de entregarlas con posterioridad. Las unidades PWR fueron puestas en servicio entre 1978 y 2005. Todas las unidades Candu (700 MWe) se ubican en el sitio Wolsong. Han sido proporcionadas por AECL y puestas en servicio entre 1983 y 1999.

Hay tres unidades PWR (960 MWe) en construcción.

3.9 Organizaciones de propietario/ operador

Los ejemplos de los países de referencia muestran que las plantas de energía nuclear pueden ser operadas y estar en poder de empresas públicas y privadas. También hay diferencias en el campo de actividades de las empresas. Algunas son activas en la generación de electricidad, por lo general, mediante el uso de distintas fuentes de energía primaria. Algunas incluso participan en la transmisión y distribución de electricidad. Algunas compañías están dedicadas únicamente a la generación nuclear.

En Argentina, Nucleoeléctrica Argentina S.A. (NASA), una compañía de propiedad absoluta del estado, opera las plantas de energía nuclear Atucha I y Embalse existentes. La relación de NASA con otras organizaciones se indica en la Figura 6.

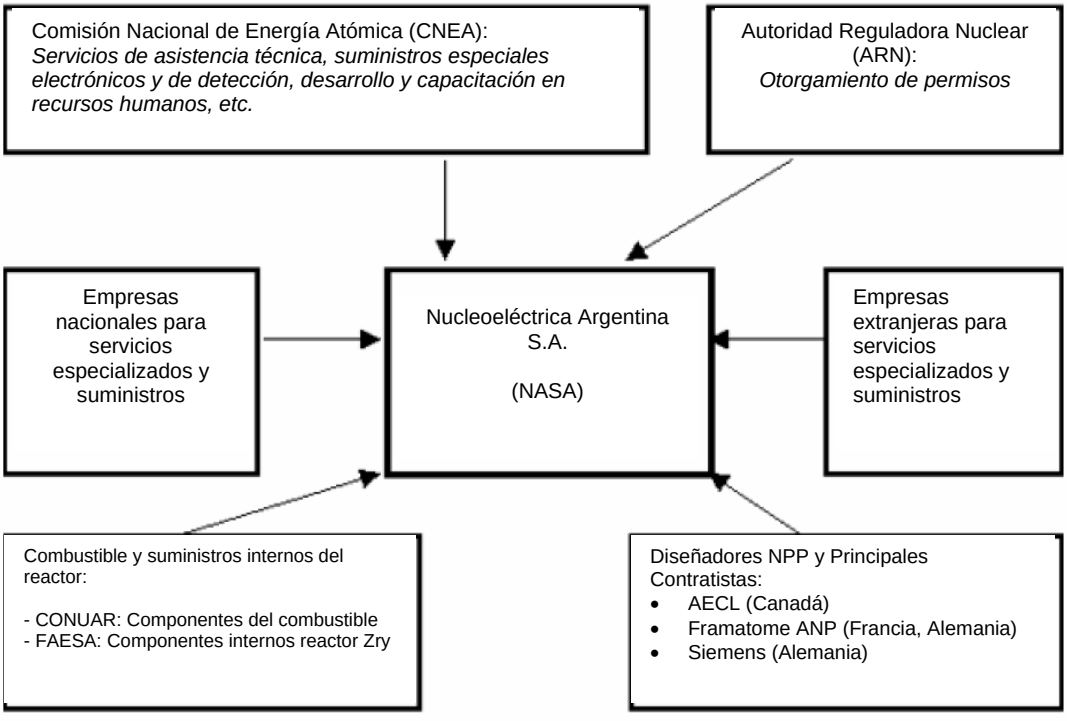


Figura 6. *Relación técnica y de suministro con NASA en Argentina*. /32/

En Brasil, ELETRONUCLEAR – ELETROBRAS Termonuclear S/A, una empresa de propiedad absoluta del estado, es responsable del diseño y operación de las plantas de energía nuclear.

En Canadá, la industria eléctrica está organizada a lo largo de líneas provinciales. Tradicionalmente, ha habido tres plantas nucleares del sector público: Ontario Power Generation (OPG), Hydro-Quebec y New Brunswick Power. Una cuarta planta nuclear, Bruce Power Inc., corresponde a una compañía del sector privado.

En EE.UU., los 104 reactores nucleares operables son en su mayoría propiedad privada, pese a que nueve son operados por entidades gubernamentales. Otras plantas nucleares cuentan con la participación no administrativa de empresas de suministro eléctrico municipal o cooperativas. Se han llevado a cabo muchas adquisiciones y fusiones en los últimos 15 años. Como consecuencia, el número de operadores de plantas nucleares ha caído de 45 en 1995 a 25 en 2007, mostrando una substancial consolidación de los conocimientos especializados.

En España, la propiedad y operación de la planta nuclear se divide entre Endesa SA (originalmente Empresa Nacional de Electricidad S.A) e Iberdrola. Las dos compañías tienen una empresa de operaciones conjuntas (joint venture): Asociación Nuclear Asco-Vandellos (ANAV), que abarca el 40% de la capacidad nuclear del país, en Catalonia. Otra empresa de operaciones conjuntas es Centrales Nucleares Almaraz-Trillo (CNAT), que abarca el 39% de la capacidad central y occidental. Nucleares del Norte (Nuclenor) es dueña y opera la planta Santa María de Garona en la norteña provincia de Burgos. La ubicación y los dueños de las plantas nucleares en España se indican en la figura 7.

En Finlandia, la planta Loviisa es de propiedad de Fortum Power and Heat Oyj (antiguamente Imatran Voima Oy, IVO) y operada por esta empresa de energía, cuyas acciones se cotizan en la bolsa. El gobierno finlandés es dueño de más de la mitad de las acciones. La planta Olkiluoto es de propiedad de Teollisuuden Voima Oyj (TVO) y operada por esta empresa de cooperación pública-privada, cuyos dueños adquieren sus acciones de electricidad al costo. Esto significa que la potencia de salida se contrata efectivamente a cada propietario durante la vida útil de la planta. Los propietarios privados son principalmente de la industria forestal con una alta demanda de energía de carga base.

En Francia, la compañía de electricidad Electricité de France (EDF) es propietaria y opera la totalidad de las plantas de energía nuclear francesas. La mayoría de las acciones de EDF son propiedad del estado.

En la República de Corea, Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd (KHNP) una subsidiaria de Korea Electric Power Corporation (KEPCO), es propietaria y opera todas las plantas de energía nuclear.

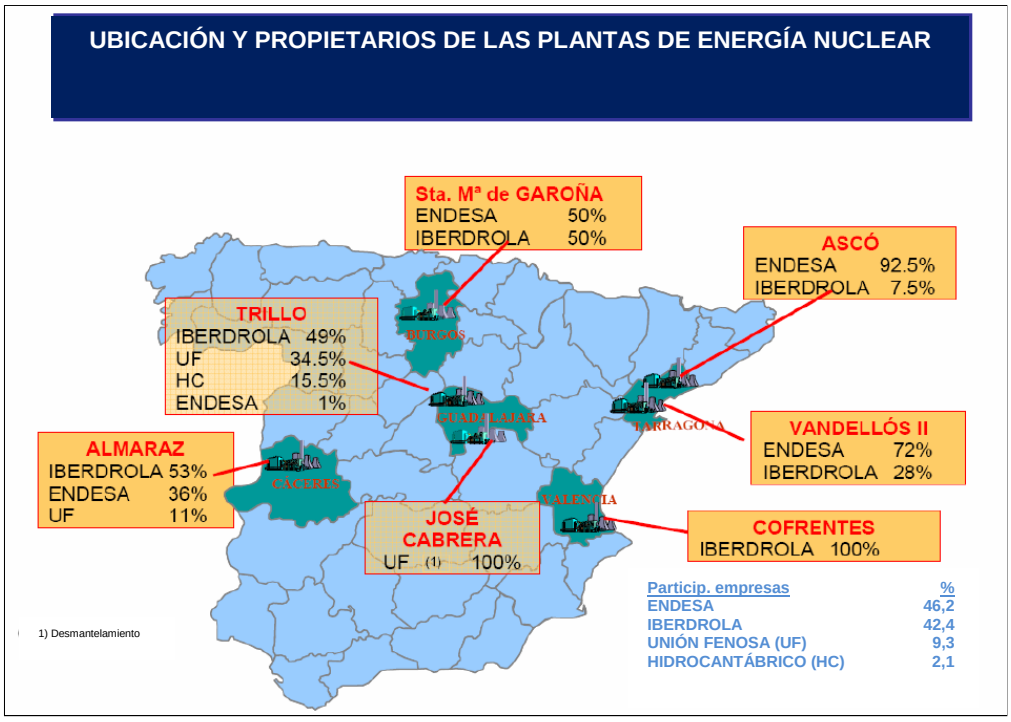


Figura 7. *Propietarios de las plantas de energía nuclear en España.*

3.10 Infraestructura industrial de respaldo

El alcance y la forma de la infraestructura industrial de respaldo dependen del historial de la energía nuclear y de la política de localización aplicada en el país. Todos los países de referencia cuentan con, al menos, una infraestructura básica que respalda la operación y el mantenimiento de las plantas de energía nuclear en operación. Existen diferencias en lo referente a la preparación para la ampliación de la capacidad nuclear. Incluso algunos de los países que han contado con un extenso programa nuclear han perdido el grueso de la infraestructura industrial debido al prolongado período sin construcción de plantas de energía nuclear.

En Argentina, se decidió a principios de la fase del programa de energía nuclear maximizar la participación local en la construcción de plantas, a fin de contribuir con el desarrollo y la modernización del país. Esto implica la contribución de empresas locales en la construcción, fabricación de componentes y equipos, montaje, ingeniería y otros servicios tales como transporte, seguros, etc. La participación de la industria local fue un aspecto muy importante a considerar durante la evaluación de la licitación para Atucha I. En el caso de Embalse, se negoció un acuerdo de transferencia tecnológica muy amplio entre Argentina y Canadá. La participación de la industria local también fue muy importante en el proyecto Atucha II; por ejemplo, los generadores de vapor fueron fabricados por una empresa privada argentina. Las participaciones locales eran entre un 35% en el primer proyecto (Atucha I) y un 50% en el último (Atucha II). Luego de más de 30 años de generación nuclear en el país, existen muchas industrias locales y empresas de ingeniería calificadas para el negocio de la energía nuclear que han participado en el mantenimiento y suministro a las estaciones en operación.

En Brasil, en un esfuerzo por alcanzar una autosuficiencia en la generación de la energía nuclear, en 1975 se firmó un acuerdo con la República Federal de

Alemania para construir ocho PWRs en un período de 15 años. Debido a diversos factores (especialmente problemas financieros), con el tiempo el programa de transferencia tecnológica brasileño – germano se dejó de lado. Hoy en día, dos empresas relacionadas con la ingeniería de plantas de energía nuclear y con el suministro de componentes están activas en el sector de la energía nuclear: NUCLEP y ELETRONUCLEAR - ELETROBRAS Termonuclear S/A. NUCLEP es capaz de diseñar y fabricar componentes de grandes dimensiones para plantas de energía nuclear, especialmente aquellos utilizados en el circuito primario del reactor. ELETRONUCLEAR es responsable del diseño, adquisición y seguimiento del equipo brasileño y extranjero, además de la administración de la construcción, montaje y puesta en servicio de las plantas de energía nuclear y es el único propietario y operador de las plantas de energía nuclear en el país. Las organizaciones relacionadas con la energía nuclear en Brasil son las que se muestran en la Figura 8.

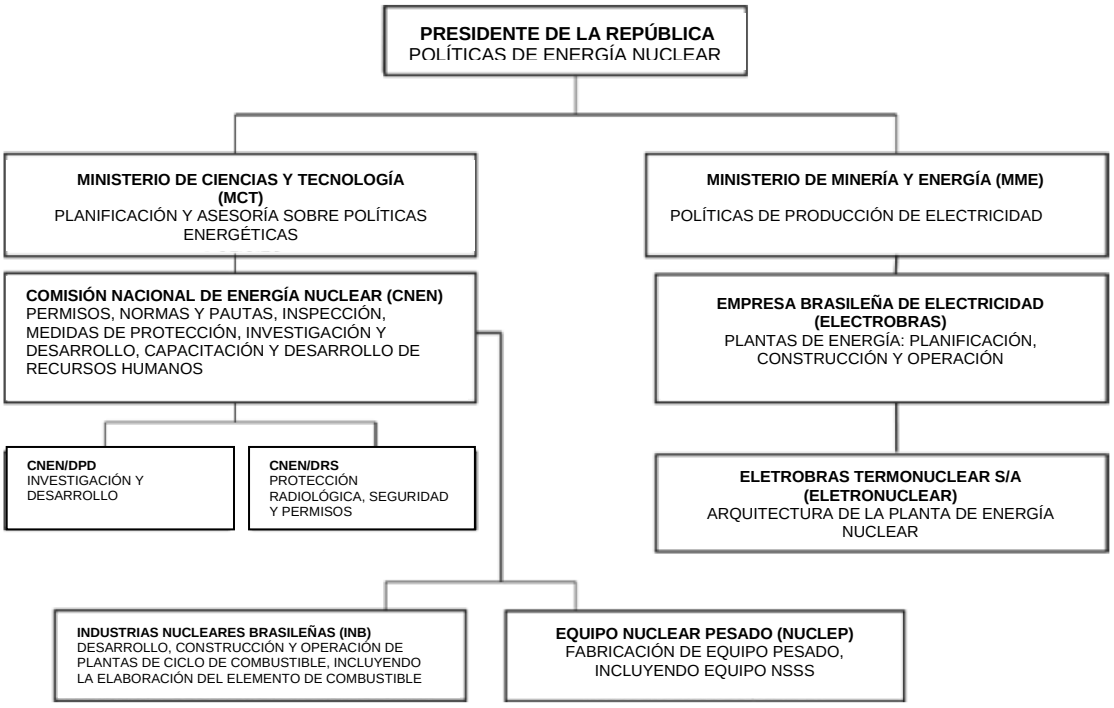


Figura 8. *Estructura organizativa para el desarrollo de la energía nuclear en Brasil. /32/*

En Canadá, la industria nuclear se compone de una mezcla de empresas del sector privado y organizaciones del sector público, tanto a nivel federal como a nivel provincial. Las actividades de la industria se enfocan en el diseño, ingeniería, construcción y mantenimiento de los reactores Candu en Canadá y el extranjero; en la fabricación de componentes y combustible, y en la explotación, molienda, refinamiento y conversión de uranio. Los miembros más significativos de la industria son Atomic Energy of Canada Limited (AECL), compañías energéticas provinciales y empresas del sector privado involucradas en el diseño y fabricación de equipos, además de una mezcla de empresas gubernamentales y privadas (nacionales e internacionales) involucradas en la producción de uranio. La estructura de la industria nuclear canadiense se muestra en la Figura 9.

En EE.UU., durante las últimas décadas se han llevado a cabo diversas fusiones y adquisiciones entre los proveedores de plantas de energía nuclear. Combastion Engineering (CE) ahora es parte de Westinghouse Nuclear. La

empresa francesa Areva NP ahora es propietaria de elementos de la tecnología nuclear de Babcox&Wilcox's (B&W). La mayoría de las acciones de Westinghouse Nuclear están en poder de la empresa japonesa Toshiba. General Electric ha establecido empresas conjuntas con la compañía japonesa Hitachi. Un gran número de empresas en EE.UU. ha proporcionado equipos y servicios a la industria de la energía nuclear. Estos servicios abarcan todo el espectro del ciclo del combustible nuclear, desde los componentes principales hasta los proveedores de equipos y servicios regulares de la mayoría de las plantas de energía. Sin embargo, los recipientes de presión del reactor, los generadores de vapor y otras piezas de acero de alta calidad ya no se fabrican en EE.UU.

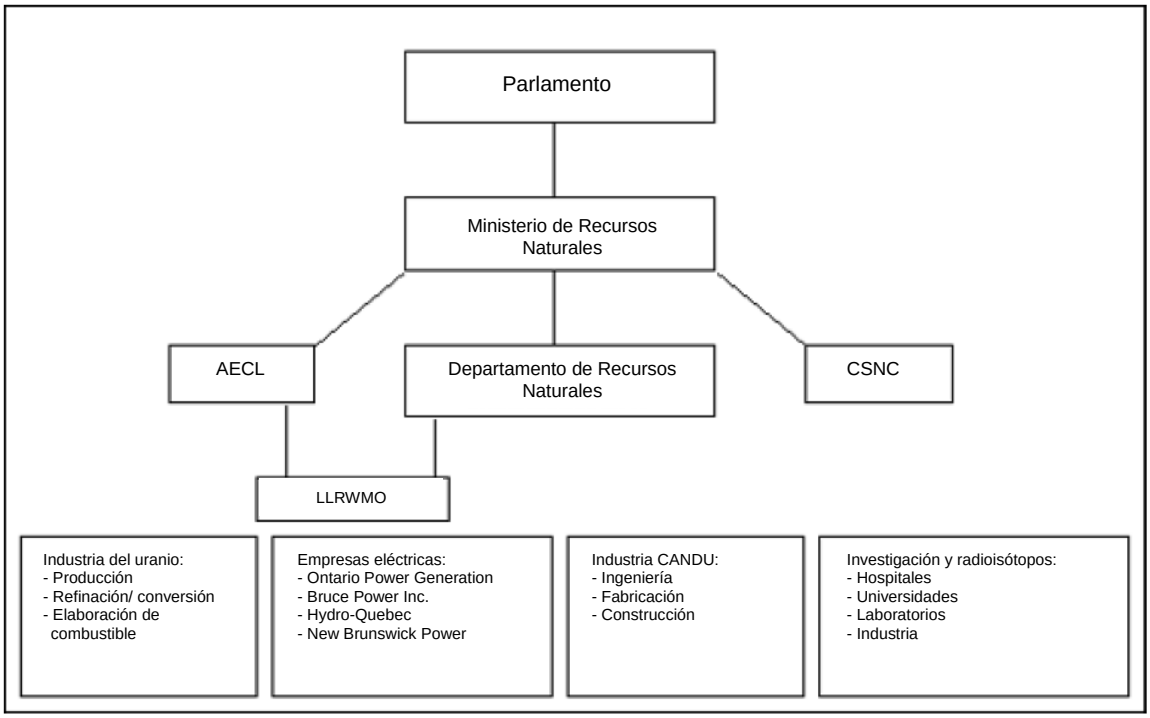


Figura 9. *Estructura de la Industria Nuclear Canadiense. /32/*

En España, el principal fabricante de componentes de plantas de energía nuclear es la empresa estatal Equipos Nucleares, S.A. (ENSA.), que diseña, produce e inspecciona equipos y componentes del circuito primario. Las empresas españolas de ingeniería Empresarios Agrupados, Initec, Inypsa y Sener, han colaborado en solitario o como consorcio con otros en el lanzamiento de las recientes plantas de energía nuclear en España. En este momento, como no hay plantas de energía nuclear en construcción, estas empresas de ingeniería se han concentrado en actividades de respaldo operacional, puesta en servicio e ingeniería de desechos radioactivos.

En Finlandia, se hicieron grandes esfuerzos por localizar las entregas de componentes en la construcción de las plantas de energía nuclear existentes. La industria de fabricación finlandesa formó una organización dedicada, Finnatom Oy, para dicho propósito. Los esfuerzos también fueron exitosos. Por ejemplo, el porcentaje de entregas nacionales en el proyecto Olkiluoto 2 fue de 60%. Las principales bombas de circulación y sistemas computacionales de la planta para las unidades Loviisa y componentes internos del reactor para las unidades Olkiluoto, así como también máquinas de transferencia de combustibles, son ejemplos de entregas de calidad nuclear. Debido al

prolongado período sin construcciones nucleares, la industria finlandesa perdió su interés en mantener la capacidad de fabricación de calidad nuclear. Esto se ha visto claramente en la conexión del proyecto Olkiluoto 3. El porcentaje de suministro de componentes finlandeses podría ser inferior a lo esperado.

En Francia, históricamente, las principales compañías en la industria de la construcción de plantas nucleares fueron Framatome, responsable de la isla nuclear y Alstom, de la parte convencional. Los sectores nucleares de Framatome y la Siemens alemana se fusionaron en 2000 en Framatome ANP (Actualmente AREVA NP), con una participación de 64% para AREVA y 36% para Siemens. En Enero de 2009, Siemens anunció su decisión de retirarse de AREVA NP.

En la República de Corea, las empresas extranjeras fueron contratadas para construir las primeras plantas de energía nuclear listas para funcionar. A finales de los años ochenta, Corea avanzó a la segunda etapa de adaptación de la tecnología de energía nuclear. Las empresas coreanas sirvieron como los contratistas principales en la construcción de plantas de energía nuclear. Las empresas extranjeras participaron en estos proyectos como subcontratistas de los contratistas coreanos principales, con el objeto de proporcionar asistencia sólo en los aspectos más sofisticados de la tecnología necesaria. Por lo tanto, Corea progresivamente alcanzó una autodependencia casi total en lo referente a la tecnología de energía nuclear, llegando a ser capaz de diseñar, fabricar y construir plantas de energía nuclear casi sin ayuda. La industria nuclear en la República de Corea se muestra en la Figura 10. KHNP se está ocupando de la administración total del proyecto. DOOSAN provee los equipos y maquinarias pesadas de construcción industrial. KOPEC tiene la responsabilidad de un ingeniero arquitecto principal. KPS proporciona servicios de mantenimiento para las plantas de energía nuclear en operación.

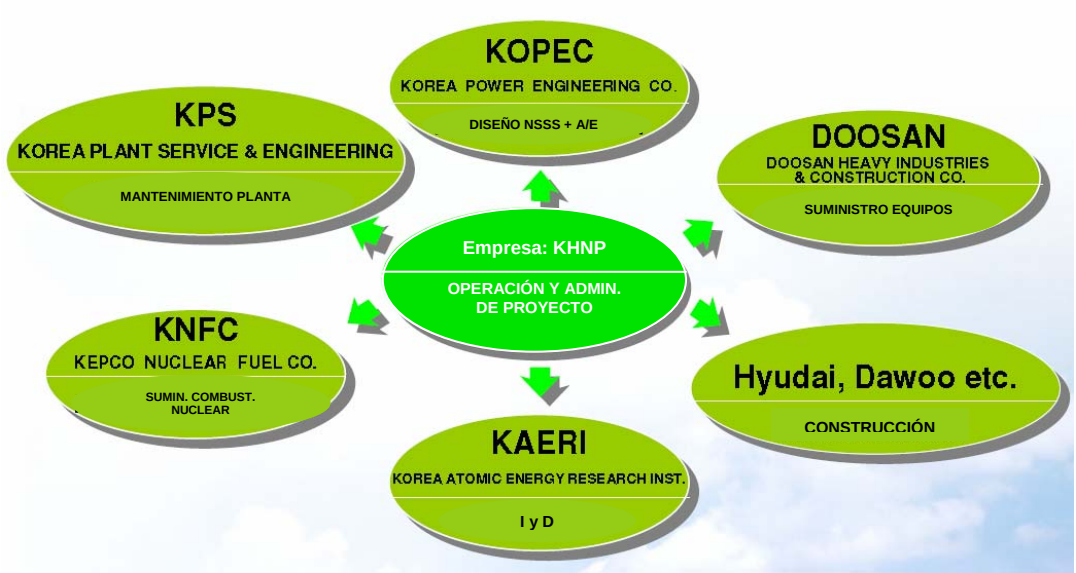


Figura 10. *Industria nuclear en la República de Corea.*

3.11 Administración de desechos y combustible nuclear

Existen diferencias respecto a la organización responsable para la administración de desechos y combustible nuclear. En algunos países, dichas actividades son realizadas por una organización centralizada, en su mayoría, organizaciones estatales. En algunos países, los propietarios de plantas de energía son los que están a cargo de las actividades. Pueden haber establecido joint ventures para disminuir la carga de las organizaciones que participan en solitario.

Algunos de los países de referencia confían en sí mismos en lo que respecta a los servicios del ciclo de combustible. Sin embargo, muchos de los países dependen en gran medida de los mercados internacionales.

Los países de referencia se encuentran en distintas fases del desarrollo e implementación de medidas de administración de desechos nucleares. Algunos países cuentan con soluciones para la eliminación de desechos de nivel bajo y medio. Sólo un país cuenta con aceptación política para el depósito del combustible empleado.

En Argentina, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) tiene la principal responsabilidad respecto a la administración de combustible y desechos. A comienzos del programa de energía nuclear se llevó a cabo una importante actividad de explotación. Con posterioridad, los cambios en las condiciones del mercado internacional de uranio, junto con los altos costos nacionales durante los años noventa, condujeron a un progresivo abandono de las actividades de explotación de uranio. Los actuales suministros de uranio se basan en importaciones del mercado internacional. La Producción de polvo de UO2 es llevada a cabo por DIOXITEK S.A. (100% propiedad de CNEA). Actualmente, la fabricación de tubos de zircaloy para el recubrimiento de elementos de combustible y piezas complementarias, conductos de refrigerante, lanzas y otros componentes internos es efectuada por FAESA (55% propiedad de CNEA). CONUAR S.A. (35% de propiedad de CNEA) fabrica los sistemas de combustible.

De acuerdo con la ley federal, CNEA es responsable de garantizar la eliminación final de desechos radioactivos de nivel bajo, medio y alto. De acuerdo con la misma ley federal, CNEA es responsable de la recepción de cada planta de energía nuclear argentina al final de su vida útil y de todas las etapas de desmantelamiento y descontaminación. De acuerdo con esta ley, se deben proporcionar dos fondos separados para cada planta de energía nuclear en operación, a fin de solventar el tratamiento de los desechos radioactivos y el desmantelamiento por parte de CNEA. Para la mayoría de los casos, la CNEA garantiza el tratamiento y almacenamiento de desechos radioactivos en su Centro Atómico de Ezeiza. Esto incluye los desechos radioactivos de nivel bajo e intermedio de cualquier origen dentro del país, así como también los sistemas de combustible empleado de los reactores experimentales y de producción de Argentina. Hasta el momento, los sistemas de combustible empleado de las plantas de energía nuclear están almacenados en cada planta de energía nuclear.

En Brasil, Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB), una compañía estatal, tiene como objetivo principal la implementación de unidades industriales

relacionadas con el ciclo de combustible nuclear para plantas de energía nuclear. Hoy en día, en Brasil hay unidades industriales para: molienda y explotación de uranio, reconversión, producción de pellets y ensamblaje de elementos de combustible. El programa de exploración mineral llevado a cabo en las últimas décadas, tuvo como resultado el descubrimiento de nuevos depósitos que proyectaron a Brasil como la sexta fuente geológica en el mundo. Actualmente, el combustible nuclear utilizado en Brasil es enriquecido a través del consorcio Urenco en el exterior. En Enero de 2009, la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) autorizó a INB a iniciar el enriquecimiento de uranio en su planta Resende. INB espera contar con diez unidades de centrífuga hacia el año 2012, capaces de satisfacer 100% de las necesidades de Angra I y 20% de las necesidades de Angra II.

CNEN es responsable de la regulación y eliminación final de los desechos radioactivos. Una ley promulgada en 2001 establece las reglas para la elección´, construcción, otorgamiento de permisos, operación, control, compensación, garantías y responsabilidades civiles respecto a los sitios para depósitos de desechos radioactivos. Brasil cuenta con dos depósitos finales para los desechos generados durante las acciones de recuperación del accidente de Goiania en 1997. Se está analizando la posibilidad de un depósito final para desechos de nivel bajo e intermedio de las plantas de energía de Angra. También se está considerando para un futuro cercano el desarrollo de regulaciones sobre seguridad del desmantelamiento por parte de la CNEN y la adecuada provisión de fondos por parte de los operadores. La actual política brasileña para la administración de combustible empleado es el almacenamiento en el sitio del reactor.

En Canadá, las empresas claves involucradas en el ciclo de combustible nuclear son Cameco Corporation, Areva Resources (molienda y explotación de uranio); Cameco (refinación y conversión) y General Electric Canada Inc. y Zircatec Precision Industries Inc. (elaboración de combustible). Canadá es el mayor productor de uranio del mundo.

Las empresas de energía y AECL son responsables de los desechos de nivel bajo e intermedio, los que se almacenan sobre el nivel del suelo. Se prevé que alrededor del año 2017 estará operando una instalación de más largo plazo para Ontario. La Organización de Administración de Desechos Nucleares (NWMO) fue establecida en 2002 por Ontario Power Generation Inc., Hydro-Québec y New Brunswick Power Corporation, de acuerdo con la Ley de Desechos de Combustible Nuclear, para asumir la responsabilidad de la administración a largo plazo del combustible nuclear utilizado en Canadá. Luego de un exhaustivo estudio de tres años, la NWMO recomendó la Administración Adaptativa por Fases para el tratamiento a largo plazo del combustible nuclear utilizado en Canadá.

En EE.UU., la explotación de uranio se inició a comienzos del programa nuclear. Durante el peak de producción en 1980 hubo más de 250 minas en operación. Este número cayó abruptamente a 50 y luego se registró una disminución sostenida. Los principales requerimientos relativos al uranio fueron importados. Estados Unidos cuenta con una planta de conversión de uranio. Las principales fuentes de importación de servicios de conversión incluyen Canadá y Rusia. USEC Inc. opera una instalación de enriquecimiento basada en la tecnología de difusión gaseosa, que es considerada antigua y costosa. Tanto USEC como un segundo grupo, Louisiana Energy Services (LES), están

construyendo más instalaciones modernas, instalaciones de enriquecimiento mediante centrífuga de gas. La elaboración de combustible se realiza en seis plantas operadas por Westinghouse, AREVA NC y General Electric-Hitachi.

Para los desechos de bajo nivel, hay una instalación en Barnwell, Carolina del Sur, para los desechos de ese estado, Nueva Jersey y Connecticut y otro dirigido por EnergySolutions en Clive, Utah, que acepta desechos de todo Estados Unidos. De otra forma, el almacenamiento se efectúa en los reactores. La política de EE.UU. desde 1977 ha sido prohibir el reprocesamiento del combustible empleado y tratarlo como desecho de alto nivel. El Gobierno es responsable de su eliminación final en un depósito geológico profundo. En la Montaña Yucca, en Nevada, se planificó un depósito de desechos de alto nivel, cuyo inicio de operaciones se previó originalmente para el año 2010. Las últimas estimaciones de DOE indicaron que el depósito de la Montaña Yucca comenzaría a operar alrededor del año 2020-21.

En España, se espera que ENUSA Industrias Avanzadas SA, una empresa estatal, se haga cargo de todas las actividades nucleares iniciales. Estos deberes pueden ser llevados a cabo por ENUSA o por una empresa subcontratada. ENUSA opera una planta de molienda (Planta Quercus) ubicada en Saelices el Chico (Salamanca) y también tiene una planta de elaboración de combustible nuclear en Juzbado (Salamanca). La planta de Juzbado produce elementos de combustible BWR y PWR para reactores de España y, además, es proveedor de otros clientes en Europa. No hay plantas de conversión y enriquecimiento de uranio en España.

La empresa estatal Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (ENRESA), está a cargo de las actividades de administración de desechos radioactivos y del desmantelamiento de las instalaciones nucleares. ENRESA tiene una instalación de almacenamiento de desechos radioactivos de nivel medio y bajo en El Cabril. Para el combustible empleado hay una instalación de almacenamiento temporal con toneles metálicos de doble propósito en el sitio de la planta de energía nuclear de Trillo. No se tomará una decisión respecto a la eliminación final del combustible empleado antes de 2010.

En Finlandia, todo el uranio utilizado es importado. TVO ha comprado uranio a Canadá, Australia y África, lo ha convertido en UF_6 en Canadá y Francia y enriquecido en Rusia y en Europa Central. La elaboración de combustible se ha efectuado en Alemania, Suecia y España. Fortum inicialmente contrató un servicio completo de suministro de combustible desde Rusia para la planta Loviisa. Posteriormente, suscribió un contrato con BNFL para suministrar parte de su combustible.

Las empresas de energía nuclear son responsables de las medidas técnicas y de la necesaria Investigación y Desarrollo asociados a la administración de desechos nucleares, incluyendo la eliminación final y los costos incurridos. Ambas plantas de energía nuclear tienen sus propios depósitos subterráneos para desechos operaciones de nivel bajo e intermedio. El combustible nuclear empleado se almacena en los sitios de la planta de energía hasta su eliminación (ver Figura 11).

Posiva Oy, una empresa especializada, se estableció en 1995 para la eliminación final del combustible nuclear empleado. Posiva Oy, de propiedad de las empresas de energía nuclear TVO (60%) y Fortum (40%), se está

haciendo cargo de las actividades necesarias de Investigación y Desarrollo, además del diseño e implementación del proyecto de eliminación de combustible empleado en Finlandia. La instalación de eliminación final se construirá en el sitio Olkiluoto. En el mismo lugar se está construyendo una instalación subterránea profunda, de roca, de caracterización e investigación (ONKALO). El 2012 se solicitará un permiso de construcción para el depósito y la planta de encapsulamiento, cuyo el inicio operaciones se espera para el año 2020.

Cada año, las empresas de energía nuclear deben presentar un estimado de costos para la futura administración de los desechos nucleares, incluyendo el desmantelamiento de las plantas de energía nuclear. Están obligados a apartar una cantidad de dinero cada año para el Fondo Estatal de Administración de Desechos Nucleares.

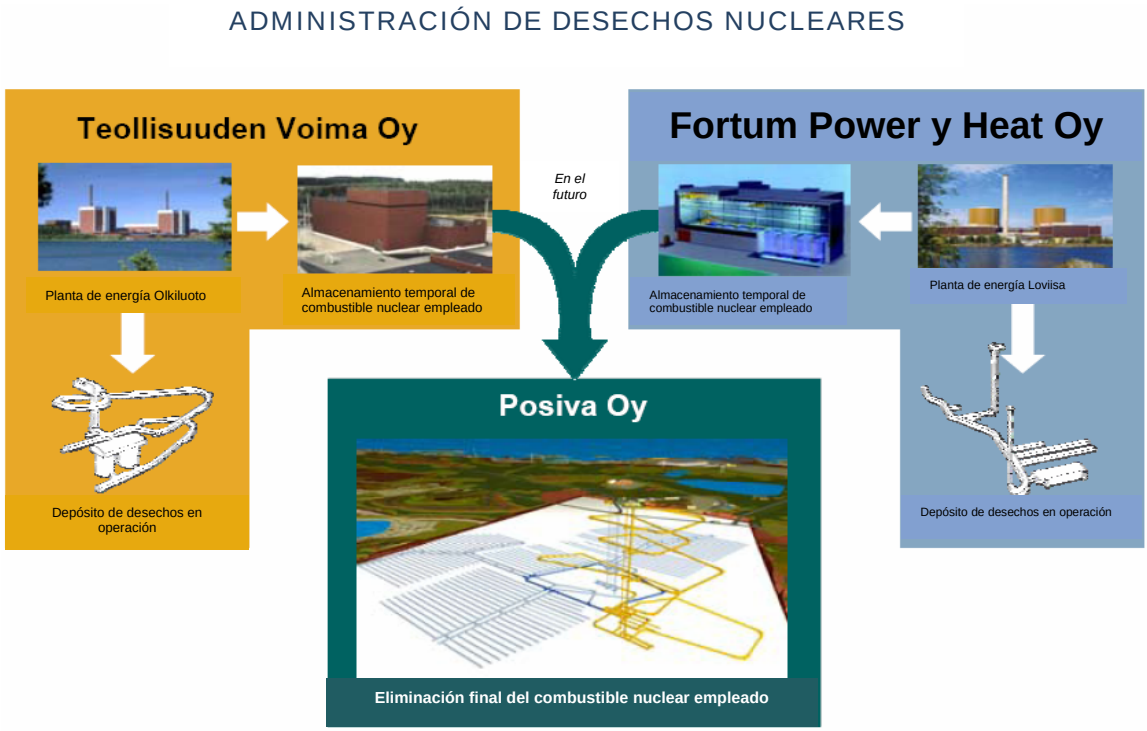


Figura 11. *Medidas de administración de desechos nucleares en Finlandia (Fuente: Posiva)*

En Francia, el uranio proviene de otras importaciones, principalmente desde Australia, Canadá, Kazajistán, Nigeria y Rusia, en su mayoría a través de contratos de largo plazo. Además de las importaciones de uranio, Francia es autosuficiente y cuenta con plantas de conversión, enriquecimiento, elaboración de combustible de uranio y elaboración de combustible MOX en operación. La mayoría de las actividades del ciclo de combustible son realizadas por AREVA NC. Los concentrados de uranio se convierten en hexafloruro en la Planta Comurhex Pierrelatte. El enriquecimiento se realiza desde 1978 en la planta Eurodif cerca de Tricastin. La planta centrífuga de dos unidades será construida y operada por la subsidiaria de AREVA NC, Societe d'Enrichissement du Tricastin (SET). Reemplazará la ineficiente planta de enriquecimiento mediante difusión de gas de Eurodif en Tricastin. La elaboración de combustible se lleva a cabo en varias plantas AREVA NC en Francia y Bélgica. Francia escogió el ciclo de combustible cerrado al comienzo

de su programa nuclear. El combustible empleado de los reactores franceses se envía a la planta La Hague de AREVA NC para su reprocesamiento.

La Ley de Administración de Desechos (actualizada en 2006) establece a ANDRA como el organismo nacional de administración de desechos radioactivos. ANDRA opera la instalación de eliminación de Soulaines para desechos de nivel bajo e intermedio de corta vida y el sitio Morvilliers para desechos de muy bajo nivel. La Ley del Programa de Administración de Desechos y Materiales Nucleares promulgada en 2006, plantea la eliminación geológica profunda como la solución de referencia para los desechos radioactivos de alto nivel y larga vida y establece el año 2015 como el plazo para el otorgamiento de un permiso para un depósito y el año 2025 como el plazo para su apertura. Los fondos para la administración de desechos y el desmantelamiento siguen estando segregados, pero del lado de los productores, no en un fondo externo. EDF aparta 0,14 centavos de euro/kWh de electricidad nuclear para los costos de administración de desechos.

En la República de Corea, el uranio proviene principalmente desde Canadá y Australia. El enriquecimiento es proporcionado desde el extranjero. Tenex, Urenco y USEC lo han proporcionado anteriormente, pero a mediados de 2007 KHNP firmó un contrato de largo plazo con AREVA NC para los servicios de enriquecimiento en la nueva planta de enriquecimiento en Francia. Korea Nuclear Fuel Company (KNFC) ha suministrado combustible PWR desde 1990 y combustible CANDU desde 1987.

KHNP es responsable de administrar todos sus desechos radioactivos. Hasta el momento, los desechos de nivel bajo e intermedio (LILW) se almacenan en el sitio de cada reactor. En Noviembre de 2005, Gyeongju fue designado como el sitio para la eliminación. Corea tiene una “política de esperar y ver” para la administración del combustible empleado. El combustible empleado se almacena en el sitio del reactor, a la espera de la construcción de una instalación de almacenamiento provisional centralizada hacia el año 2016. Se prevé una eliminación geológica profunda de largo plazo. A KHNP se le aplicó un cargo en base a la energía generada. También se aplicó un cargo a KNFC. Los cargos van a dar a un Fondo Nacional de Administración de Desechos Nucleares.

3.12 Institutos y organizaciones de investigación y desarrollo

En los países de referencia, las comisiones nacionales de energía atómica han iniciado actividades de investigación nuclear en la primera fase del programa de energía nuclear. La mayoría de los países estableció un instituto estatal dedicado para la investigación y desarrollo nuclear. Dichos institutos aún existen, aunque el volumen de investigaciones ha disminuido y los temas de investigación se han reorientado.

Algunos países no establecieron un instituto de investigación nuclear, sino que asimilaron la investigación nuclear de las organizaciones de investigación existentes.

En Argentina, la CNEA sigue siendo el principal instituto para la investigación y desarrollo en el campo nuclear, así como también para la provisión de servicios técnicos y asistencia a plantas de energía nuclear, otras instalaciones nucleares y usuarios de aplicaciones nucleares y de otro tipo, tanto en mercados nacionales como en mercados internacionales. Las principales instalaciones

CNEA se concentran en el Centro Atómico Constituyentes (CAC), Centro Atómico Ezeiza (CAE), Centro Atómico Bariloche (CAB) y Complejo Tecnológico Pilcaniyeu.

.

En Brasil, la Dirección de Investigación y Desarrollo de CNEN es responsable de todo el ciclo de combustible, de la tecnología del reactor, de los radioisótopos y de toda la Investigación y Desarrollo relacionado. Los siguientes centros de investigación nuclear, incluyendo los reactores experimentales, desempeñan diversos trabajos de Investigación y Desarrollo: IPEN (Sao Paulo), IEN (Río de Janeiro), CDTN (Belo Horizonte) y CTSMP (Sao Paulo).

En Canadá, AECL es responsable del programa de investigación y desarrollo nuclear, que incluye actividades para respaldar la tecnología CANDU, así como también las actividades científicas básicas para respaldar los programas de AECL aplicados en las ciencias nucleares, biológicas y de materiales. El centro de investigación de AECL en Chalk River, Ontario, desempeña un papel crucial en el desarrollo del reactor CANDU y en la administración de desechos de combustible nuclear.

En EE.UU., tanto la industria privada como el gobierno federal llevan a cabo un proceso de investigación y desarrollo para la industria nuclear. Las empresas privadas están investigando activamente la tecnología de reactores, la tecnología de enriquecimiento y el diseño de combustible nuclear. Una de las principales instituciones de financiamiento de investigación privada corresponde al Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI por sus siglas en inglés). EPRI, a través de los cargos de membresía, desarrolla y conduce investigaciones en muchas áreas relativas al campo nuclear, así como también otras áreas de la industria de la energía eléctrica. El gobierno federal respalda la investigación y desarrollo a través de asignaciones específicas de presupuesto para la Oficina de Energía Nuclear de DOE. Es una triple misión: desarrollar nuevas tecnologías de generación de energía nuclear, desarrollar tecnologías avanzadas de combustible nuclear resistentes a la proliferación, que maximicen la energía del combustible nuclear y mantener/ mejorar la infraestructura nacional de tecnología nuclear. La Oficina de Energía Nuclear financia las actividades de desmantelamiento e investigación de energía nuclear en los 19 laboratorios de propiedad de DOE.

En España, uno de los deberes del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) es la investigación y el desarrollo nuclear. Colabora con varias instituciones en España y el extranjero en lo que respecta al campo nuclear.

En Finlandia, no hay institutos dedicados exclusivamente a la investigación nuclear. La investigación de energía nuclear se ha descentralizado a lo largo de los diversos grupos y unidades de investigación que operan en los distintos institutos estatales de investigación, universidades y en las compañías energéticas y empresas de consultoría. El grueso de la investigación se lleva a cabo en el Centro de Investigación Técnica de Finlandia (VTT). Tiene un reactor experimental. Otros institutos de investigación importantes incluyen las universidades de tecnología de Helsinki y Lappeenranta (TKK, LUT), el Servicio Geológico de Finlandia (GTK), el Instituto Meteorológico Finlandés y las universidades de Helsinki, Kuopio y Tampere. El enfoque de la Investigación y

Desarrollo nuclear está en la seguridad y desempeño operacional de las plantas de energía y en la administración y eliminación de desechos nucleares.

En Francia, la Comisión de Energía Atómica (Commissariat a l'Energie Atomique - CEA) es la corporación pública de Investigación y Desarrollo responsable de todos los aspectos de la Investigación y el Desarrollo nuclear. La CEA tiene 14 reactores experimentales de diversos tipos y tamaños en operación. En 2007 la CEA inició la construcción de un reactor de prueba de materiales de 100 MWt en Cadarache. Este reactor de Jules Horowitz es el primero en construirse en varias décadas y ha sido identificado por la Unión Europea como una infraestructura clave para respaldar el desarrollo de la energía nuclear, así como también la producción de radioisótopos y la irradiación de silicio para uso electrónico de alto rendimiento.

En la República de Corea, el Programa de Investigación y Desarrollo Nuclear, también conocido como "Programa Nacional de Investigación y Desarrollo de Mediano y Largo Plazo", es implementado principalmente por el Instituto Coreano de Investigación de Energía Atómica (Korean Atomic Energy Research Institute - KAERI), Hospital del Centro del Cáncer de Corea (Korea Cancer Center Hospital - KCCH) y el Instituto Coreano de Seguridad Nuclear (Korea Institute of Nuclear Safety - KINS). El programa es financiado por el gobierno y la industria nuclear. El Programa se enfoca en cinco campos de investigación: 1) Combustible y reactores avanzados, 2) Seguridad nuclear, 3) Administración de desechos radioactivos, 4) Aplicación de radiación y radioisótopos, 5) Tecnologías fundamentales. Además, los Programas de Investigación y Desarrollo liderados por la industria son implementados por KHNP, KOPEC, KPS y KNFC, etc.

3.13 Recursos humanos

Se han implementado medidas de educación, capacitación y reclutamiento para contar con los recursos necesarios en las plantas de energía nuclear operables en los países de referencia, aunque el retiro del personal original es un desafío. Sin embargo, la falta de recursos humanos es uno de los más grandes desafíos para el éxito del “renacimiento” nuclear en todos lados. Se proyecta que uno de los déficits más importantes de profesionales titulados corresponderá al de los ingenieros nucleares. En muchos países se han lanzado programas y actividades especiales de educación y capacitación.

En Argentina, el desarrollo general de recursos humanos en el campo nuclear es una de las responsabilidades de CNEA, de acuerdo con la ley federal y, en la práctica, se ha transformado en una de las actividades más comunes de este organismo. Este incluye:

- Educación y capacitación específica a nivel técnico para los operadores del reactor, así como también en otras áreas, de acuerdo a las necesidades actuales.
- Cursos universitarios, posgrado y doctorado y tesis, principalmente a través de tres institutos complementarios: "Instituto Balseiro" en Bariloche, "Instituto para Estudios Nucleares" en Ezeiza e "Instituto Sabato" en Buenos Aires.

A su vez, NASA periódicamente organiza, de acuerdo a las necesidades, actividades de capacitación específicas para el nuevo personal en los distintos

niveles de responsabilidad y especialidades, así como también actividades complementarias para el personal de planta regular. Esto incluye cursos específicos breves, capacitación práctica para las diversas fusiones operacionales y de mantenimiento, capacitación específica sobre simuladores de alcance parcial, capacitación anual periódica y recapacitación sobre simuladores de alcance total.

En Brasil, los recursos humanos de CNEN actualmente totalizan 2.670 personas, 1.820 trabajan en actividades de Investigación y Desarrollo nuclear. Otras 1.200 trabajan en la generación de energía y tienen trabajos en industrias nucleares del ciclo de combustible (Eletronuclear e INB). Desde 1985 el sitio ANGRA cuenta con un simulador tipo 2 PWR/ANGRA en operación. El simulador ha proporcionado servicios de capacitación del operador para empresas energéticas de países tales como España, Suiza, Alemania y Argentina, que operan plantas de energía nuclear proporcionadas por KWU.

En Canadá, la industria nuclear se expandió rápidamente en los años setenta y ochenta. Gran parte de la experiencia profesional se perderá cuando los diversos empleados contratados durante el período de expansión se retiren en los próximos años. Las personas autorizadas de las plantas de energía nuclear están efectuando análisis detallados de la capacidad del personal, para predecir las brechas entre el suministro pronosticado y los niveles de recursos planificados en las áreas de operación, mantenimiento e ingeniería. AECL está abordando este asunto a través de un completo sistema de administración de recursos, que se enfoca en los servicios de ingeniería prestados a las personas autorizadas de las plantas de energía nuclear, en el reacondicionamiento de los reactores existentes y en los nuevos reactores que se van a construir. El Instituto de Tecnología de la Universidad de Ontario (UOIT por sus siglas en inglés) ha dado forma a un programa de ingeniería nuclear para cumplir con las necesidades de la industria de manera específica,. La Red de Excelencia Universitaria en Ingeniería Nuclear (UNENE por sus siglas en inglés), es una alianza de universidades y personas autorizadas de las plantas de energía nuclear, así como también de organismos reguladores, que respaldan y desarrollan la capacidad de educación, investigación y desarrollo en las universidades canadienses. Todas las personas autorizadas de NPP y AECL también cuentan con programas de capacitación interna que se enfocan en la capacitación sobre tecnología CANDU.

En EE.UU., el personal de la industria de la energía nuclear está envejeciendo y se teme que muchas de las habilidades profesionales desaparezcan a medida que se retira el personal de las instalaciones de investigación y energía nuclear, laboratorios nacionales y universidades. Sin un programa activo de construcción en la industria de la energía nuclear, no queda claro qué nivel de empleado capacitado será exigido por la industria en el futuro. La tendencia de largo plazo hacia la baja en el número de programas universitarios que ofrecen títulos de ingeniería nuclear, revirtió su curso a fines de los años noventa y varias escuelas agregaron programas en los últimos años. Sin embargo, sigue existiendo un desafío. El número de graduados disponibles en 2007 para el renacimiento de la energía nuclear en EE.UU. era menos de un tercio de lo que se estima necesario anualmente.

En España, antes del inicio de las actividades nucleares, varias universidades e institutos politécnicos crearon departamentos nucleares para que los estudiantes iniciaran la capacitación en el campo nuclear. La década de los

ochenta fue el momento de actividad máxima en la industria nuclear española, proporcionando trabajos a más de 20.000 personas, entre las que se encontraban más de 5.000 técnicos altamente calificados. Además, había unas 20.000 personas más en trabajos indirectos en las numerosas empresas que proveen productos y servicios. Una vez que finalizó la construcción de la planta nuclear española y se decidió no continuar construyendo nuevas plantas nucleares, las empresas del sector nuclear continuaron con sus actividades, proporcionando servicios de ingeniería, combustible y componentes para respaldar la operación. Además de su participación en el mercado nacional, la industria nuclear española ha podido ingresar con éxito al mercado internacional. Sin embargo, algunas empresas de servicio tienen una menor exposición en el extranjero y, en consecuencia, el tamaño de la industria se ha ajustado a la nueva situación y, de acuerdo a las estimaciones, en España actualmente habría más de 30.000 personas empleadas en el sector nuclear.

En Finlandia, 10–20 estudiantes obtuvieron su título académico básico (Licenciatura en Ciencias) en energía nuclear. Sin embargo, la demanda de ingenieros nucleares graduados aumentará debido al requisito de crear una nueva generación de expertos y proyectos potenciales de plantas de energía nuclear. Los programas de posgrado académico para obtener una licenciatura o doctorado en energía nuclear están disponibles en tres universidades.

En Francia, aproximadamente se emplea a 19.000 personas en la División de Generación de Energía Nuclear de EDF, divididas en tres grupos: personal operacional (aproximadamente 5%), personal de supervisión (aproximadamente 68%) y administración (aproximadamente 27%). Además de estos 19.000 miembros que participan directamente en la operación de las plantas de energía nuclear de EDF, esta última dedica recursos humanos para el desarrollo, operación y desmantelamiento de reactores nucleares.

- Aproximadamente 2.000 ingenieros y técnicos en la División de Ingeniería Nuclear.
- Casi 150 ingenieros y técnicos en la División de Combustible Nuclear.
- Más de 600 ingenieros y técnicos en la División de Investigación y Desarrollo de EDF.

En 2006, EDF implementó un programa exhaustivo diseñado para garantizar las habilidades y la orientación profesional, con el objeto de comenzar a prepararse para el proceso de traspaso generacional y planificación de sucesión. Más de 30.000 personas son contratadas por AREVA en Francia.

En la República de Corea, el total de empleados en la industria nuclear en 2004 era de 21.201. KHNP tenía aproximadamente 6.800 trabajadores en 2004 y se espera que hacia el año 2010 se necesiten unos 1.800 empleados adicionales. En 2004, el Departamento de Ingeniería Nuclear de la Universidad Nacional de Seúl contaba con 12 profesores, 129 estudiantes universitarios, 35 estudiantes postulando a una maestría y 15 candidatos postulando a un PhD. El Centro de Capacitación Nuclear (NTC) del Instituto Coreano de Investigación de Energía Atómica (KAERI), proporciona una amplia gama de cursos de capacitación para nutrir al personal nacional e internacional, e implementa diversos proyectos para contribuir con la independencia técnica del país en la generación de energía nuclear y desarrollo de nuevas tecnologías. El Instituto Coreano de Seguridad Nuclear (KINS) ha establecido y dirigido una Escuela de Seguridad Nuclear (NSS) para capacitar al personal de regulación de seguridad nuclear y educar a los trabajadores de la industria nuclear, estudiantes y público general, en lo que respecta a la información sobre seguridad nuclear.

3.14 Futuros programas nucleares

En todo el mundo se está produciendo un “renacimiento” nuclear. Esto también es cierto en los países de referencia con una excepción. Sin embargo, puede haber un cierto optimismo exagerado que aparecerá como un retraso en la implementación de nuevos planes y programas de construcción. Los asuntos que plantean un mayor desafío son la falta de recursos humanos y de capacidades de fabricación de componentes.

En Argentina, con relación a la determinación del gobierno de reiniciar la construcción de Atucha II en 2006, también se decidió respecto a otros proyectos nucleares, incluyendo el reacondicionamiento y prolongación de la vida útil de la planta Embalse, un estudio de factibilidad para una cuarta planta de energía nuclear y, eventualmente, una quinta, el desarrollo y construcción de un reactor prototipo CAREM diseñado localmente y la operación renovada de la planta piloto de enriquecimiento de uranio. La situación actual de la energía nuclear en Argentina se caracteriza por una fuerte decisión de expandir la participación nuclear en la generación de electricidad y promover la participación de la industria local en los proyectos en pleno desarrollo.

En Brasil, en Septiembre de 2008 Eletronuclear envió un plan de corto plazo al Presidente de Brasil que incluía, además de la finalización de Angra 3, seis nuevos reactores de 1000 MWe cada uno. Eletronuclear proyectó la finalización de los primeros dos reactores en 2019 y 2021. Para el año 2030 se prevé la adición de hasta 8 GWe de nueva capacidad, siendo este el mejor escenario. Para el año 2060, el gobierno espera tener instalada una capacidad nuclear de 60 GWe.

En Canadá, se están planificando e implementando varios proyectos para reacondicionar las plantas de energía nuclear existentes. En Junio de 2008 el gobierno de Ontario seleccionó a Darlington como el sitio para dos grandes reactores nucleares nuevos, operados por OPG para ser puestos en servicio en 2018. A comienzos de 2009 se decidirá cuál de los tres proveedores del reactor invitados a la licitación es elegido - AECL, Westinghouse y Areva. En 2007, el gobierno provincial de New Brunswick decidió realizar un estudio de factibilidad para la construcción de un segundo y, posiblemente, un tercer reactor en el sitio Point Lepreau. El estudio de factibilidad está evaluando una unidad de 1085 MWe ACR-1000 con una vida útil de 60 años. La actual propuesta de Bruce Power Alberta es para una capacidad nuclear de hasta 4000 MWe en Peace River o en las cercanías. En Sakatchewan, Bruce Power ha anunciado un estudio de factibilidad conjunto con SaskPower para construir dos reactores de energía nuclear.

En EE.UU., existen tres iniciativas de regulación que incentivan los planes de construcción de nuevas plantas en los próximos años: proceso de Certificación de Diseño, Permisos Anticipados para el Sitio (ESP) y Permisos Combinados de Construcción y Operación (COL). En las últimas dos décadas, la industria ha estado trabajando estrechamente con la NRC en la certificación de diseños avanzados de rectores Generation-III. Actualmente cuatro cuentan con la Certificación de Diseño final, de manera que pueden construir en cualquier lugar de EE.UU. y atraen sólo procedimientos de otorgamiento de permisos específicos para el sitio. Estos diseños avanzados son ABWR, Sistema 80+, AP 600 y AP 1000. El proceso de Certificación de Diseño. Los siguientes diseños de reactor están en un proceso de certificación de diseño o en la etapa

previa a la solicitud: ESBWR, US-EPR y US-ABWR. Hasta Enero de 2009, el programa ESP ha captado a cuatro solicitantes: Exelon, Entergy, Dominion y Southern para los sitios Clinton, Grand Gulf, North Anna y Vogtle respectivamente. Se registraron un total de 17 solicitudes COL hacia fines de 2008. Al igual que los COL, algunas empresas de energía han firmado contratos con proveedores, ya sea para el abastecimiento de equipos pesados tales como recipientes de presión y generadores de vapor, o para la completa ingeniería, adquisición y construcción (EPC), evidenciando con ellos la alta probabilidad de que se construyan las plantas mencionadas. La Figura 12 muestra los proyectos de plantas de energía nuclear en EE.UU. de acuerdo con las estadísticas de la NRC.

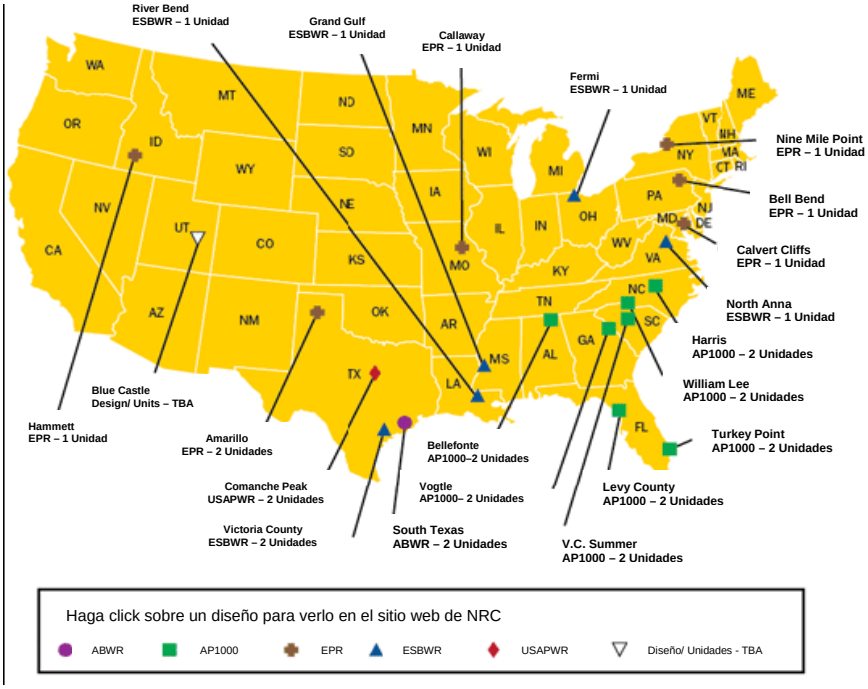


Figura 12. *Ubicación de los Nuevos Reactores de Energía Nuclear Proyectados en EE.UU.*

En España, el gobierno decretó una moratoria en 1983. La moratoria se confirmó en 1994.

En Finlandia, TVO, Fennovoima Oy y Fortum presentaron las solicitudes en principio en Abril de 2008, Enero de 2009 y Febrero de 2009 respectivamente. Fennovoima Oy es una nueva empresa de energía nuclear finlandesa, establecida en el verano de 2007. Su intención es construir una planta de energía nuclear en Finlandia, con una potencia de 1500–2500 MWe. La planta podría tener una unidad de 1500–1800 MWe, o dos unidades de 1000–1250 MWe cada una. La planta se construiría en uno de tres sitios rurales alternativos. Las solicitudes de TVO y Fortum incluyen una unidad de 1000-1800 MWe. Las unidades de planta de TVO y Fortum se construirían en los sitios de Olkiluoto y Loviisa respectivamente.

En Francia, EDF anunció en Agosto de 2005 que tenía pensado reemplazar sus 58 PWRs con reactores nucleares EPR a contar del año 2020, a un ritmo de una unidad de 1650 MWe por año. Requeriría 40 de éstas para alcanzar la capacidad actual. Esto se confirmará alrededor del año 2015, en base a la experiencia con la unidad EPR inicial en Flamanville – es posible la utilización de otros diseños, como AP1000 de Westinghouse o ASBWR de GE. El Presidente de Francia anunció en Enero de 2009 el respaldo del gobierno para el próximo EPR que se construirá en el sitio Penly.

En la República de Corea, el gobierno anunció en 2009 un plan para mitigar el cambio climático y garantizar la estabilidad del suministro. De acuerdo con el plan, Corea invertirá los 37 billones obtenidos (unos US$ 28,5 mil millones) para aumentar la capacidad de generación hasta el año 2022, con el fin de satisfacer la demanda eléctrica que, de acuerdo a las estimaciones, aumentaría un 2,1% por año en el período. El plan incluye el establecimiento de 13 reactores de energía nuclear, siete unidades a carbón y 11 unidades a gas natural licuado (LNG). Esto significaría que hacia el año 2022, la energía nuclear cubriría 48% de toda la electricidad generada, comparado con el 34% actual. Corea ya cuenta con ocho reactores en construcción o en proceso, los que serán puestos en servicio entre el año 2010 y 2016.

4. Modelo regulador conceptual para seguridad nuclear

Los Requerimientos de Seguridad GS-R-1 de IAEA presentan los requerimientos claves en su artículo 2.2. /13/ concerniente a los mecanismos legislativos y gubernamentales de los Estados:
(1) Se establecerá un marco legislativo y obligatorio para regular la seguridad de las instalaciones y actividades.
(2) Se establecerá y mantendrá un organismo regulador independiente de las organizaciones y organismos, encargado de promover las tecnologías nucleares, o responsable de las instalaciones o actividades.
(3) Se le asignará al organismo regulador la responsabilidad de la autorización, revisión y evaluación reguladora, inspección y cumplimiento y de establecer los principios, criterios, regulaciones y pautas de seguridad.
(4) Al organismo regulador se le concederá la autoridad y poder adecuados, y se garantizará que cuente con los recursos financieros y humanos adecuados para alivianar las responsabilidades asignadas.
(5) Al organismo regulador no se le asignará ninguna otra responsabilidad que pueda poner en riesgo o entrar en conflicto con su responsabilidad de regular la seguridad.

GS-R-1 presenta un modelo organizativo ideal en los capítulos 4 y 5, basado en las funciones (actividades) del organismo regulador. El modelo conceptual general que se basa en el GS-R-1 se presenta en la Figura 13.

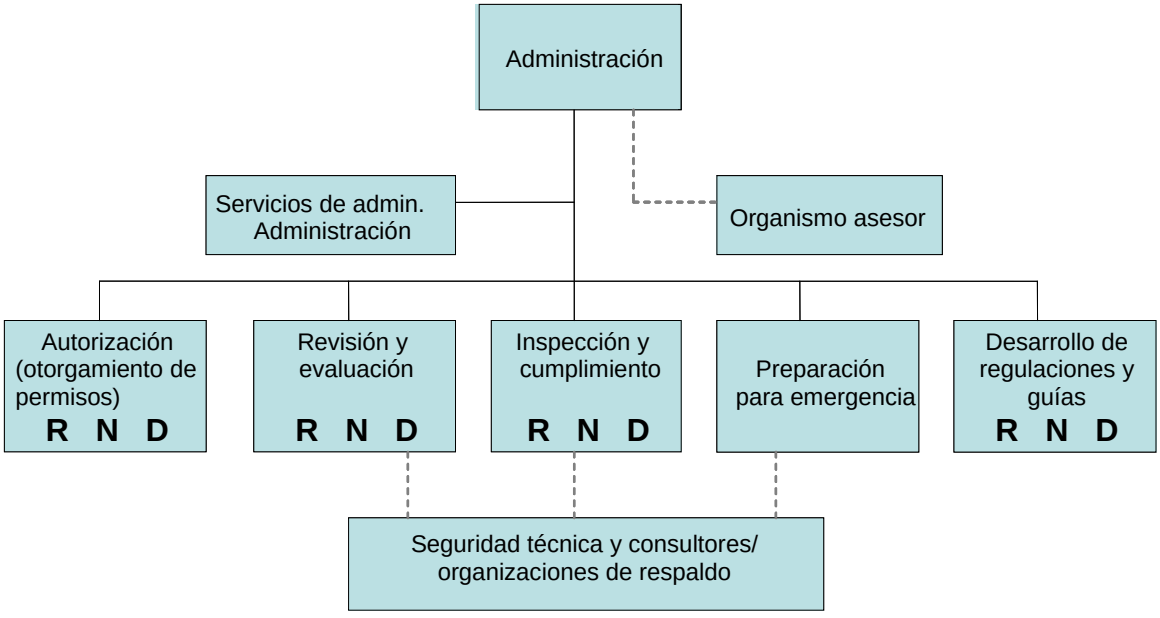


Figura 13. *Modelo conceptual basado en los Requerimientos de Seguridad GS-R-1 de IAEA. Las letras R, N, W se refieren a seguridad Radiológica, Nuclear y de Desechos.*

Marco para abordar la utilización de la energía nuclear

La Agencia Internacional de Energía Atómica cuenta con un grupo asesor, INSAG, que ha publicado pautas útiles para que a nivel gubernamental y regulador sepan cómo abordar la opción nuclear en la producción de energía. Específicamente, los informes N° 17, 20, 21 y 22 del INSAG proporcionan información útil sobre las acciones a nivel nacional e internacional, que son necesarias para el exitoso proceso gubernamental /19 - 22/. De manera similar, la IAEA ha desarrollado un enfoque para que la industria haga lo correcto de manera oportuna /24 - 31/.

De acuerdo con el INSAG 22 /22/, se deben emprender algunas acciones claves al abordar la utilización de la energía nuclear, por ejemplo:

- Creación de una infraestructura legislativa y reguladora.
- Desarrollo de una legislación, incluyendo el otorgamiento de permisos y el organismo regulador para el control.
- Establecimiento de un organismo regulador independiente para seguridad radiológica y nuclear, incluyendo el desarrollo de regulaciones a nivel nacional (ver INSAG 17).
- Establecimiento de una educación académica para la ingeniería y la ciencia y tecnología nuclear.
- Establecimiento de programas de capacitación profesional relativos a la seguridad radiológica y nuclear.
- Establecimiento de programas de investigación para ciencia y tecnología nuclear.
- Creación de un proceso consultivo nacional, incluyendo a todos los interesados y público en general.
- Preparativos en la organización operativa para el desarrollo de infraestructura necesaria, respaldo de ingeniería, estudios de factibilidad, incluyendo la definición de normas de seguridad, licitación y contratación, capacitación profesional, creación de una cultura de seguridad, etc.
- Selección y caracterización del sitio.
- Consideración del desmantelamiento y de las opciones relativas a los desechos nucleares en la primera fase, incluyendo el financiamiento.
- Consideración de las opciones de diseño, tomando en cuenta las opciones de diseño probado (“planta de referencia”), seleccionando al proveedor confiable con experiencia y a las plantas de referencia, además de las opciones de entrega “llave en mano”.
- Consideración de prácticas de construcción sólidas, incluyendo el control de calidad.

El Anexo II de INSAG 22 proporciona una lista de acciones para todos los interesados que son útiles de estudiar.

A continuación las comentaremos brevemente. En las referencias /25, 29/ se proporciona información más detallada.

Creación de infraestructura legislativa y reguladora

Se necesitan varias leyes para la opción de energía nuclear, tal como se indica en /25 /, por ejemplo, Ley para el establecimiento de poderes de los organismos reguladores, Ley sobre seguridad de las instalaciones nucleares, Ley sobre responsabilidad nuclear, Ley sobre desechos radioactivos, combustible empleado y desmantelamiento, Ley de protección medioambiental, Ley sobre

notificación de emergencia de incidentes nucleares; Legislación para la implementación de convenios y acuerdos internacionales y Ley sobre materiales radioactivos y radiación.

Desarrollo de una legislación, incluyendo el otorgamiento de permisos y el organismo regulador para el control.

Las leyes sobre el establecimiento de poderes de los organismos reguladores y seguridad de las instalaciones nucleares son necesarias para definir las obligaciones y poderes del organismo regulador, además del proceso de otorgamiento de permisos en el país.

Establecimiento de un organismo regulador independiente para seguridad radiológica y nuclear, incluyendo el desarrollo de regulaciones a nivel nacional.

Una de las primeras actividades es establecer un organismo regulador independiente, con personal apropiado y competencia suficiente para desarrollar las regulaciones necesarias a nivel nacional para el control de plantas de energía nuclear y otras instalaciones nucleares.

Establecimiento de una educación académica para la ingeniería y la ciencia y tecnología nuclear.

La provisión de educación nuclear en las universidades es un requisito previo para una beneficiosa contratación de personal en el futuro. Todas las habilidades normales de ingeniería son necesarias en el programa nuclear. Por lo tanto, se deberán considerar habilidades y conocimientos nucleares específicos, además de los estudios sobre física y tecnología nuclear y del reactor.

Establecimiento de programas de capacitación profesional relativos a la seguridad radiológica y nuclear.

Además de la educación universitaria, se deberá proporcionar otra capacitación nuclear profesional a nivel nacional en lo referente a asuntos de seguridad radiológica y nuclear.

Establecimiento de programas de investigación para ciencia y tecnología nuclear.

Se necesita un programa de investigación nacional sobre asuntos relativos a la seguridad nuclear y radiológica para respaldar el establecimiento del programa nuclear. El financiamiento público es necesario para el respaldo de programas reguladores en lo que respecta a asuntos de administración de desechos nucleares, así como también seguridad de la planta de energía. Los fenómenos medioambientales y sus efectos sobre la opción nuclear son un tema importante.

Creación de un proceso consultivo nacional, incluyendo a todos los interesados y público en general

La aceptación pública y el análisis parlamentario sobre la aceptabilidad de la opción nuclear son necesarios para proceder de una manera controlada. Es importante comprender los beneficios de la opción nuclear, así como también los riesgos relacionados al uso de la radiación y de la energía nuclear. Los asuntos medioambientales y de administración de desechos también son temas

que deberán tratarse cuidadosamente antes de iniciar el proceso de otorgamiento de permisos. Es necesario realizar un estudio energético general, para comparar las distintas opciones energéticas y sus beneficios y desventajas en las condiciones existentes y para el futuro. Se necesita una sólida organización gubernamental con recursos adecuados para que administre el proyecto, a fin de producir la información necesaria para la toma de decisiones.

Preparativos en la organización operativa para el desarrollo de infraestructura necesaria

La organización operacional también necesita desarrollar su infraestructura. El respaldo de ingeniería, los estudios de factibilidad, incluyendo la definición de normas de seguridad, licitación y contratación, capacitación profesional, creación de una cultura se seguridad, etc., son asuntos importantes que requieren habilidades y conocimientos específicos. Estas habilidades y conocimientos necesitan desarrollarse. Los estudios de factibilidad para la opción nuclear son las herramientas claves en este trabajo.

Selección y caracterización del sitio

La selección y caracterización del sitio son las tareas claves en un comienzo. Es necesario considerar la forma en que los fenómenos afectan la instalación nuclear y la definición de la base de diseño medioambiental para la instalación nuclear. También se debe tomar en cuenta la forma en que la instalación nuclear afecta el medio ambiente durante la operación normal, pero también durante los accidentes anticipados en la instalación. Además, la preparación y respuesta de emergencia son factores importantes a considerar. La Evaluación del Impacto Medioambiental es una herramienta para esta fase.

Consideración del desmantelamiento y de las opciones relativas a los desechos nucleares en la primera fase, incluyendo el financiamiento.

Para el éxito del proyecto, también se deberán considerar los asuntos relativos a los desechos antes de establecer un programa nuclear. Deberán estudiarse las posibilidades para la eliminación final en el país. Además, la instalación se deberá diseñar de forma tal, que su desmantelamiento se realice con facilidad.

Consideración de las opciones de diseño, tomando en cuenta las opciones de diseño probado ("planta de referencia"), seleccionando al proveedor confiable con experiencia y a las plantas de referencia, además de las opciones de entrega "llave en mano".

Para que el proyecto sea exitoso, no haya sorpresas ni retrasos y para que los costos puedan predecirse, es necesario contar con una opción de diseño probado y proveedores de planta confiables. Si es posible, incluso debería considerarse una entrega "llave en mano", especialmente si el país no cuenta con prácticas industriales sólidas para construir instalaciones industriales complejas y de grandes dimensiones. Además, la administración de combustible también sería más fácil con este tipo de soluciones.

Consideración de prácticas de construcción sólidas, incluyendo el control de calidad

La calidad de la construcción y el producto final son extremadamente importantes en una inversión de tal magnitud. La confiabilidad de la producción de electricidad y los factores de alta disponibilidad de la operación de la planta, son importantes para las industrias que necesitan que la electricidad sea producida por la nueva instalación. La organización operativa necesita supervisar la construcción y calidad del trabajo. Además, es necesario un control regulador para garantizar la seguridad y calidad nuclear.

Medidas a nivel de organización

La ref. /12/ presenta medidas gubernamentales y reguladoras para la seguridad nuclear en los países OECD al comienzo de 2000. Estos ejemplos prácticos demuestran que el desarrollo histórico y el tamaño del programa nuclear tienen un gran efecto en la apariencia de la organización. Los ejemplos también demuestran que no hay un modelo organizativo absolutamente "correcto", sino que se aceptan varios modelos alternativos para la organización de actividades reguladoras.

En el Capítulo 3, se comparan los marcos de regulación nuclear aplicados a los sistemas de generación nuclear-eléctrica en los países de referencia (Argentina, Brasil, Canadá, EE.UU., España, Finlandia, Francia y la República de Corea. También se comparan con el modelo propuesto por IAEA en las Normas de Seguridad Nº GS-R-1 relativa a los requerimientos legales y de infraestructura. La configuración de las organizaciones gubernamentales y organismos reguladores de países de referencia se presentan en el Anexo 2 para efectos de comparación. Las cuatro reuniones de revisión del Convenio sobre Seguridad Nuclear, han demostrado que los países de referencia cuentan con marcos reguladores nucleares que, generalmente, están en la línea del convenio. Sin embargo, las estructuras organizativas y los deberes de los organismos reguladores varían. Las razones abarcan el tamaño del programa nuclear, el desarrollo histórico, combinado con los laboratorios de investigación, unidades de respaldo técnico, variedad de deberes, etc.

Cuando el modelo conceptual se compara con las organizaciones existentes, es evidente que éstas se ven distintas, aunque se lleven a cabo las funciones y tareas exigidas por las Normas de Seguridad IAEA. Por lo general, las disciplinas técnicas determinan las unidades organizativas. A menudo, la protección radiológica y la inspección de seguridad nuclear han sido puestas en unidades organizativas separadas, que no están en el mismo nivel dentro de la organización. La unidad de seguridad de desechos también puede ser una unidad organizativa separada. Generalmente, el trabajo de inspección y evaluación de seguridad se efectúa dentro de las mismas unidades organizativas y las organizaciones de respaldo técnico a menudo se utilizan en trabajos de análisis y/o evaluación de seguridad.

La dotación de personal y las competencias del organismo regulador se analizan en la Pauta de Seguridad IAEA /14/. Se necesita personal con experiencia en una amplia gama de asuntos técnicos y factores humanos. La fase y magnitud del programa nuclear deberá considerarse al momento de decidir de qué manera estas disciplinas se presentarán en el modelo organizativo. El organismo regulador deberá contar con personal suficiente para efectuar el trabajo de regulación y, además, para analizar los resultados del trabajo de los consultores u organizaciones de respaldo técnico. Es

necesario realizar trabajos de inspección y evaluación altamente especializados. Se necesitan las correspondientes competencias, tales como conocimientos y habilidades para análisis de seguridad deterministas, análisis de riesgos probabilísticos, efectos de los fenómenos medioambientales, administración de combustibles y núcleo del reactor, componentes mecánicos y recipientes de presión, sistemas eléctricos y de automatización, distribución de la planta e ingeniería estructural, protección radiológica y preparación para emergencias en las instalaciones nucleares, administración operacional y de seguridad, nuevos temas de inspección de construcciones y evaluación del proceso de otorgamiento de permisos, desarrollo de regulaciones y pautas de regulación, planificación y control de calidad interna.

Convenios relativos a la seguridad nuclear internacional

De acuerdo con INSAG 21, se necesitan varios convenios y acuerdos para la opción nuclear. Chile ha suscrito y ratificado varios convenios, pero aún queda trabajo por hacer. Para la seguridad nuclear, rigen los siguientes tratados y convenios internacionales. Por lo general, la IAEA cumple la función de secretaría para la administración:

- Convenio sobre Seguridad Nuclear
- Convenio Conjunto sobre Seguridad de la Administración de Combustible Empleado y sobre Seguridad de la Administración de Desechos Radioactivos
- Convenio sobre Notificación Temprana de un Accidente Nuclear
- Convenio sobre Asistencia en Caso de un Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica
- Convenio sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (Convenios de Viena y Paris) + Protocolo Conjunto y Protocolo para Modificar el Convenio de Viena + Convenio sobre Compensación Complementaria
- Convenio sobre Protección Física del Material Nuclear
- Tratado sobre No Proliferación de Armas Nucleares (TNP);
- Acuerdo de Medidas Integrales de Protección + Protocolo Adicional.

Por lo general, los países de referencia han suscrito y ratificado los convenios y tratados. Respecto a la responsabilidad civil, algunos de los países de referencia han firmado y ratificado los convenios y tratados. Respecto a la responsabilidad civil, algunos de los países pertenecen al Convenio de París. Se espera un significativo aumento en la suma disponible para compensación por daños nucleares en el futuro cercano, puesto que las negociaciones internacionales sobre la revisión de los acuerdos de París/ Bruselas sobre responsabilidad nuclear finalizaron en 2004. Los Protocolos de 2004, modificando los Convenios de París y Bruselas, entrarán en vigencia cuando se hayan conseguido las firmas suficientes.

5. La aplicación del modelo conceptual a la infraestructura de regulación chilena

Durante la reunión inicial a mediados de Diciembre de 2008 en Santiago, se entrevistó a todos los interesados y se analizaron las prácticas reguladoras. La reunión se realizó con los representantes de las siguientes organizaciones:

- Representantes de la Comisión Nacional de Energía (CNE)

- Miembros del grupo de trabajo CNE para la opción nuclear
- Representantes de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)
- Representantes de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)
- Representantes del Ministerio de Salud/ oficina de Santiago
- Visita al centro de investigaciones CCHEN e instalación del reactor experimental en el área de Santiago
- Visita a la Universidad de Chile para analizar la educación y capacitación nuclear con dos profesores (matemáticas, ingeniería eléctrica)

Cabe destacar también que el Ministerio de Economía y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles podría tener un rol al momento de considerar la opción de la energía nuclear. Se colocó a disposición el libro "Legislación Nuclear" de CCHEN, que contiene la legislación y regulaciones relativas a la seguridad radiológica y nuclear publicadas por CCHEN y el Ministerio de Salud /39/. También se colocó a disposición el informe "Opción Nucleoeléctrica en Chile", preparado por el Grupo de Trabajo Nucleoeléctrico (Septiembre de 2008) /40/.

Como es evidente en la base del Convenio sobre Seguridad Nuclear (Artículo 8), uno de los temas claves es la organización del organismo regulador a nivel de gobierno. ¿Cómo se garantiza la independencia del organismo regulador para seguridad nuclear con respecto a la promoción y producción de energía nuclear? ¿Bajo qué ministerio, gobierno o parlamento debería operar el organismo regulador en lo referente a la generación de informes, toma de decisiones de regulación y asuntos presupuestarios? Los ministerios que tienen un interés en el asunto son el Ministerio de Energía (interés en la promoción de la energía nuclear), el Ministerio de Salud (interés en la protección radiológica), el Ministerio del Medio Ambiente (Interés en los asuntos medioambientales) y el Ministerio de Economía (interés por las finanzas).

Los países nucleares más grandes cuentan con la mayor cantidad de organismos reguladores independientes conectados al Parlamento y al Gobierno, pero sin perder su independencia reguladora. En los países más pequeños, el organismo regulador normalmente opera bajo algún Ministerio. Esto también podría ser apropiado en el caso de Chile.

A continuación se presenta un modelo preliminar. El modelo conceptual general propuesto en el capítulo 4 es el siguiente:

1. Creación de infraestructura legislativa y reguladora

En Chile, tanto el Ministerio de Salud como CCHEN han desarrollado una legislación y regulaciones relativas a la seguridad nuclear y radiológica /39/, como por ejemplo:

- Ley No 18.302, "Ley de Seguridad Nuclear",
- Decreto Supremo N° 133 "Aprueba reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radioactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines"
- Decreto Supremo N° 87 "Aprueba reglamento de protección física de las instalaciones y de los materiales nucleares"
- Decreto Supremo N° 3 87 "Aprueba reglamento de protección radiológica de instalaciones radioactivas"
- Decreto Supremo N° 12 "Aprueba el reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radioactivos"

Esta configuración a nivel de legislación y organización entre el Ministerio de Salud y la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) ha sido creada para el control de los dos reactores experimentales situados en las instalaciones CCHEN, aceleradores y grandes fuentes de Cobalto para la producción de isótopos médicos en las instalaciones CCHEN y para la supervisión de otras instalaciones y fuentes radioactivas industriales y médicas. El control de los reactores experimentales y grandes instalaciones de generación radiológica es proporcionado por unidades organizativas separadas, situadas al interior de la CCHEN, en tanto el Ministerio de Salud controla las fuentes de radiación principalmente en las atenciones médicas, pero también en las industrias, a través de sus oficinas de área donde se ubican los inspectores respectivos. Como tal, la legislación y la configuración a nivel de organización proporcionan una buena base para la actual situación y para el trabajo de desarrollo adicional.

Es necesario efectuar el siguiente ordenamiento:

- A partir de las comparaciones anteriores, se hizo evidente que el lanzamiento de plantas de energía nuclear y otras instalaciones nucleares relacionadas requieren de un mayor desarrollo de la legislación. El control regulador, el establecimiento de un organismo regulador independiente y el desarrollo de procedimientos de otorgamiento de permisos exigen una mayor legislación, además de un reordenamiento de la estructura del organismo regulador. Lo que es suficiente para la actual situación no es suficiente para las plantas de energía nuclear y otras instalaciones relacionadas.

- Por lo general, las actividades de otorgamiento de permisos podrían ser coordinadas por la Oficina situada en uno de los Ministerios, por ejemplo, Ministerio de Energía (incluyendo la coordinación, recopilación de declaraciones, organización de audiencias públicas, presentación de asuntos ante el Gobierno, redacción de los permisos). El Ministerio podría recopilar declaraciones vinculantes (ej.: derechos de veto) del “Organismo Regulador para la Seguridad Radiológica y Nuclear” y del Ministerio del Medio Ambiente y otras declaraciones de las partes involucradas. La coordinación de la planificación energética en general y el rol de la energía nuclear en los planes en Chile pertenece al Ministerio de Energía.

- En un pequeño país con un programa nuclear pequeño, podría ser el gobierno el encargado de emitir los permisos principales, debido a la participación requerida para garantizar la seguridad de terceros y el control de desechos nucleares por períodos más prolongados, luego de haberse cerrado la instalación.

- El Ministerio del Medio Ambiente podría coordinar la Evaluación del Impacto Medioambiental y los asuntos relativos al otorgamiento de permisos medioambientales.

- Es necesario establecer el “organismo regulador para la seguridad nuclear y radiológica” como un organismo regulador independiente de la promoción de energía nuclear, tal como lo exige el Convenio de Seguridad Nuclear. El punto clave es la forma en que se organizan las actividades administrativas entre los ministerios y el Organismo Regulador con relación al proceso de otorgamiento de permisos.

- El control parlamentario y la transparencia en las actividades nucleares podrían proporcionarse junto con los buenos ejemplos incluidos en el capítulo 3. Dichos ejemplos deberán estudiarse.

El ordenamiento deberá ser tal, que participen todas las partes interesadas en la energía nuclear, seguridad radiológica y nuclear, entorno y transparencia de las actividades, a nivel de gobierno. El principio más importante señala que los ministerios deben cumplir con sus deberes normales en el caso de los negocios nucleares, a no ser que se convenga lo contrario.

2. Desarrollo de una legislación, incluyendo el otorgamiento de permisos y organismo regulador para el control

Se necesitan varias leyes para la opción de energía nuclear, tal como se indica en el capítulo 4, por ejemplo, Ley estableciendo los poderes de los organismos reguladores; Ley sobre seguridad de las instalaciones nucleares, Ley sobre responsabilidad nuclear, Ley sobre desechos radioactivos, combustible empleado y desmantelamiento, Ley de protección medioambiental, Ley sobre notificación de emergencia de incidentes nucleares. Esto significa que la actual legislación chilena necesita analizarse detenidamente y desarrollarse aún más.

Es necesario establecer una legislación y regulaciones nucleares para abordar el otorgamiento de permisos y la construcción de plantas de energía nuclear. Se deben incluir medidas para el otorgamiento de permisos y controles reguladores. Se dispone de buenos modelos, por ejemplo, en Finlandia. Además, la IAEA ha preparado material respecto a cómo establecer una legislación nuclear.

Se debe establecer un organismo regulador y su Oficina para la coordinación del establecimiento de leyes y regulaciones. También se deben establecer grupos de trabajo a partir del organismo regulador, los ministerios y TSO, para que hagan el trabajo, incluyendo abogados y especialistas nucleares.

3. Establecimiento de un organismo regulador independiente para la seguridad radiológica y nuclear, incluyendo el desarrollo de regulaciones a nivel nacional.

Una de las primeras actividades es establecer un organismo regulador independiente, con personal adecuado y competencia suficiente para desarrollar las regulaciones necesarias a nivel nacional para el control de las plantas de energía nuclear y otras instalaciones nucleares.

El establecimiento de un Organismo Regulador para la Seguridad Radiológica y Nuclear es un punto clave para el futuro desarrollo. La IAEA proporciona buena orientación respecto a las funciones y tareas claves /13 -17/. Se establecerá un Organismo Regulador y se considerarán las unidades organizativas existentes que hoy se sitúan al interior de la CCHEN – en su unidad de inspección y control regulador – y en el Ministerio de Salud y en sus oficinas de área, por ejemplo, en Santiago. La Superintendencia de Electricidad y Combustibles también podría tener las competencias relevantes a considerar en este respecto. El modelo conceptual se presenta en la Figura 13 y se analiza en el capítulo 4. De acuerdo con la IAEA /13, 14/, al organismo regulador se le asignará la responsabilidad de la autorización, revisión y evaluación reguladora, inspección y cumplimiento, además de establecer los principios, criterios, regulaciones y pautas de seguridad. Al organismo regulador se le proporcionará la adecuada autoridad y poder y deberá garantizarse que cuenta con el personal y los recursos financieros adecuados para delegar sus

responsabilidades asignadas. Para el desarrollo de la infraestructura interna del regulador, se proporcionan ejemplos en el Anexo 2 y en la referencia /12/.

Debido al requerimiento de independencia del Convenio sobre Seguridad Nuclear, el “Organismo Regulador para Seguridad Radiológica y Nuclear” podría estar administrativamente bajo el mando de, por ejemplo, el Ministerio de Salud, el Ministerio del Medio Ambiente o el Ministerio de Economía.

El punto clave en un comienzo sería el desarrollo de regulaciones nacionales para plantas de energía nuclear, incluyendo los Criterios Generales de Diseño /23/. Un buen punto de partida serían los documentos de la Serie de Normas de Seguridad IAEA. Existen algunos organismos reguladores que podrían servir como ejemplos para el desarrollo, por ej.: Argentina, Brasil, Finlandia.

*4. Establecimiento de una educación académica para la ingeniería y la ciencia y tecnología nuclea*r.

Las universidades chilenas no cuentan con profesores especializados en ciencias. Todos los conocimientos especializados relevantes se encuentran en los institutos y laboratorios de CCHEN. La provisión de educación nuclear en las universidades es un requisito previo para un exitoso desarrollo futuro. El establecimiento de una educación académica para la ingeniería y la ciencia y tecnología nuclear, es uno de los primeros pasos para establecer el marco para el caso de la energía nuclear. Las universidades en Santiago deberán establecer programas para física nuclear y física y dinámica de reactores, así como también hidráulica termal y ciencia de materiales para los sistemas de reactores. Existen programas computacionales disponibles, por ejemplo, a través de los programas de investigación financiados por NRC o de las fuentes europeas (Francia, Finlandia). Los simuladores de capacitación y analizadores de planta serían herramientas de capacitación ideales.

Además de la tecnología y física del reactor, así como también de la protección radiológica, todas las habilidades normales de ingeniería son necesarias en el programa nuclear. Por lo tanto, las habilidades y conocimientos nucleares también se deberán considerar en los campos específicos de ingeniería, además de la física del reactor y los estudios tecnológicos.

Establecer un profesor en una universidad adecuada correspondería a un mínimo esfuerzo. El establecimiento de conexiones con las universidades correspondientes en otros países, con el objeto de recolectar información sobre cómo proceder en lo referente a la educación nuclear, sería una de las primeras actividades. Se deberán establecer las relaciones relativas a la educación con las instalaciones y laboratorios CCHEN en el campo de la física y tecnología del reactor y a la protección radiológica.

5. Establecimiento de programas de capacitación profesional relativos a la seguridad radiológica y nuclear

Además de la educación universitaria, se deberá proporcionar otra capacitación nuclear profesional, basada en asuntos de seguridad nuclear y radiológica a nivel nacional. Esta capacitación se dirigiría al personal profesional de organizaciones gubernamentales y empresas energéticas. Se dispone de cursos de capacitación que proporcionan una visión general y conocimientos detallados sobre temas nucleares específicos, que son importantes de considerar en las actividades nucleares. Es necesaria la participación en dichos cursos de capacitación, la utilización de las experiencias recabadas en Chile y el establecimiento de servicios de capacitación similares en Chile.

El establecimiento de programas de capacitación profesional relativos a la seguridad radiológica y nuclear es clave para el rápido desarrollo del personal. Por ejemplo, STUK ha estado participando y continuamente organiza cursos de capacitación sobre la materia, a modo de cooperación a nivel nacional y europeo (en inglés).

6. Establecimiento de programas de investigación para ciencia y tecnología nuclear

El establecimiento de programas de investigación para ciencia y tecnología nuclear es clave para el futuro desarrollo. El programa de investigación nacional sobre asuntos de seguridad nuclear y radiológica, es necesario para respaldar el establecimiento del programa nuclear. Los programas de investigación son herramientas importantes para la promoción de la opción nuclear, pero también son importantes para respaldar el trabajo regulador relativo a la seguridad nuclear. Tales programas de investigación también son valiosos desde el punto de vista de la educación y capacitación, debido a que se pueden desarrollar expertos específicos a través dichos programas. También se necesita el financiamiento público.

Los temas incluyen: seguridad de la planta nuclear, administración de desechos nucleares, fenómenos medioambientales y sus efectos en el programa nuclear.

CCHEN será un proveedor ideal de tal investigación y, además, de servicios de desarrollo de personal. Un objetivo para CCHEN sería capacitar a jóvenes investigadores para que luego fuesen transferidos al organismo regulador o empresas de energía, para trabajar como especialistas de alta capacitación.

7. El rol de las Organizaciones de Respaldo y Seguridad Técnica

El Organismo Regulador para Seguridad Radiológica y Nuclear necesita de Organizaciones de Seguridad Técnica (TSO) para respaldar la evaluación y análisis de seguridad, así como también para respaldar inspecciones especializadas, tales como inspecciones relacionadas con el recipiente de presión e inspecciones relativas a la automatización. CCHEN y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles podrían proporcionar los servicios necesarios – sin embargo, debe garantizarse la independencia necesaria. La clave es comenzar a desarrollar habilidades para efectuar análisis de seguridad deterministas y probabilísticos. Esto significa que las TSO necesitan adquirir y elaborar programas computacionales adecuados y desarrollar la capacidad para efectuar análisis de seguridad nuclear y evaluaciones de seguridad. Además, para las inspecciones del recipiente de presión del reactor nuclear, los expertos existentes necesitan conocimientos nucleares específicos. El Organismo Regulador para Seguridad Radiológica y Nuclear necesita algunos expertos en el campo de la automatización y de los recipientes de presión de calidad nuclear, así como también, en el campo de los análisis de seguridad deterministas y probabilísticos. Se deberá definir la posición organizativa de la TSO, parte de CCHEN. Existen posibilidades tales como Ministerio de Energía, Ministerio de Economía y Ministerio de Educación.

8. Creación de un proceso consultivo nacional, incluyendo a todos los interesados y público en general

La creación de un proceso consultivo nacional, incluyendo a todos los interesados y público en general, es una tarea importante para la transparencia y confianza pública. Tal programa podría involucrar a miembros del Parlamento

y público general en conversaciones abiertas y transparentes, donde se presentaría información de investigación sólida respecto a la necesidad energética, asuntos de seguridad nuclear, administración de desechos y medio ambiente. Se organizarán procesos de audiencia pública como parte del proceso de otorgamiento de permisos.

La aceptación pública y las conversaciones a nivel parlamentario sobre la opción nuclear son necesarias para proceder de una forma controlada. Es importante comprender los beneficios de la opción nuclear, así como también los riesgos relacionados con el uso de la radiación y la energía nuclear. Los asuntos de administración de desechos y medio ambiente también son puntos importantes a tratar antes de iniciar el proceso de otorgamiento de permisos. En general, se necesita de un estudio energético para comparar las distintas opciones de energía, además de sus beneficios y desventajas en las condiciones existentes y en el futuro.

Se necesita una sólida organización gubernamental para la administración del proyecto, con recursos adecuados para producir la información necesaria para la toma de decisiones.

9. Preparativos en la organización operativa para el desarrollo de infraestructura necesaria

La organización operativa necesita desarrollar su infraestructura. Se deberá establecer un respaldo de ingeniería. La capacitación profesional, incluyendo la creación de una cultura de seguridad, es una de las claves para que el equipo de profesionales comprenda los requerimientos nucleares específicos, además de las prácticas industriales normales. Existen asuntos nucleares importantes que requieren de conocimientos y habilidades específicas. Es necesario desarrollar dichos conocimientos y habilidades.

Se necesitan establecer los estudios de factibilidad para la opción nuclear con el fin de decidir el tipo de planta de energía, la capacidad necesaria, las opciones de red eléctrica, asuntos de diseño medioambiental, requerimientos reguladores y normas de diseño. Es necesario contar con la siguiente información para el otorgamiento de permisos, licitación y contratación:

- Se necesita un diseño probado, un proveedor de planta confiable, con plantas de referencia y entrega “llave en mano” para un proyecto exitoso con costos predecibles. Se necesitarán en caso que faltaran prácticas industriales sólidas para construir instalaciones industriales grandes y complejas.
- Además, la administración de combustibles sería más fácil con este tipo de soluciones.
- La calidad de la construcción y el producto final son extremadamente importantes en una inversión de tal magnitud. La confiabilidad de la producción eléctrica y los factores de alta disponibilidad de la operación de la planta son importantes para las industrias que necesitan la electricidad. La organización operativa necesita supervisar la construcción y la calidad del trabajo. Además, el control regulador es necesario para garantizar la seguridad y calidad nuclear.

10. Selección y caracterización del sitio

La Evaluación del Impacto Medioambiental es una herramienta para esta fase. El Ministerio del Medio Ambiente está desarrollando el proceso de Evaluación

del Impacto Medioambiental. El programa de investigación nacional es necesario para establecer conocimientos detallados sobre las condiciones naturales en Chile, incluyendo condiciones sísmicas, volcánicas y climáticas, tales como temperatura, vientos fuertes, nivel del agua, etc., las que se deberán considerar al momento de diseñar la planta de energía nuclear. Además, para la selección del sitio se deben considerar los peligros generados por el hombre, como accidentes aéreos, riesgos de transporte e industriales, tales como explosiones, químicos, etc.

Se debe estimar el efecto de descargas radioactivas durante la operación normal y en condiciones de accidentes. La respuesta de emergencia es un punto importante a considerar. La evaluación riesgos probabilísticos es una buena herramienta para obtener un panorama general de la importancia de los factores de riesgo medioambiental en comparación con otros riesgos.

11. Consideración del desmantelamiento y de las opciones relativas a los desechos nucleares en la primera fase, incluyendo el financiamiento

Para el éxito del proyecto, también se deberán considerar los asuntos relativos a los desechos antes de configurar un programa nuclear. Se deberán estudiar las posibilidades para la eliminación final en Chile. Además, la instalación deberá estar diseñada de manera tal, que su desmantelamiento se lleve a cabo de manera fácil.

12. Convenios relativos a la seguridad nuclear internacional

Es necesario continuar trabajando en los convenios relativos a seguridad internacional para firmarlos y ratificarlos. Por ejemplo, los siguientes Convenios no han sido firmados por Chile: Convenio Conjunto sobre Seguridad de la Administración de Combustible y sobre Seguridad de la Administración de Desechos Radioactivos; Convenio sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares y Acuerdo de Medidas de Protección Integrales según /1b/.

13. Cooperación Internacional

Es necesaria la cooperación bilateral entre países, con el fin de permitir el desarrollo de competencias y asistir en el trabajo de desarrollo. En EE.UU. y en la Unión Europea existen instrumentos para asistir y experimentar, y herramientas para el análisis de seguridad y capacitación nuclear, además de pautas de regulación que se utilizarán como modelo, etc. Las organizaciones internacionales también proporcionan asistencia en el campo nuclear, como es el caso de la IAEA. También se necesitan acuerdos bilaterales entre países vecinos, por ejemplo, con relación a la preparación para emergencias.

14. Evaluación del estado del desarrollo de la infraestructura nuclear

Una infraestructura apropiada es esencial para un uso seguro, confiable y pacífico de la energía nuclear. La publicación /29/ de los Hitos IAEA proporciona una visión general de todo el programa, con la finalidad de desarrollar la infraestructura nacional para energía nuclear. Las actividades se dividen en tres fases progresivas de desarrollo. La finalización del trabajo en cada una de estas fases está marcada por un hito específico en el que se puede evaluar el progreso y éxito del desarrollo y tomar la decisión de pasar a la fase siguiente. Se insta a completar la autoevaluación del estado del desarrollo de la infraestructura nuclear chilena, de acuerdo con la pauta /30/ de la IAEA y, luego de ello, disponer una revisión independiente de la autoevaluación. La

evaluación debería producir un claro programa de trabajo para cada asunto evaluado.

6. Conclusiones

En base a este estudio se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. Chile ha desarrollado actividades nucleares desde los años setenta, mediante la utilización de reactores experimentales y la producción de isótopos para uso médico en aceleradores y fuentes de Cobalto. Se han desarrollado las correspondientes leyes y regulaciones y establecido el control regulador. Por lo tanto, hay una duradera infraestructura a través de la Comisión Chilena de Energía Nuclear y el Ministerio de Salud, incluyendo los correspondientes conocimientos y habilidades para desarrollo nuclear. La Comisión Nacional de Energía también ha establecido un grupo de trabajo sobre energía nuclear, que ha publicado sus resultados en 2008. Además, se han implementado medidas de protección a nivel de organización para que el Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente lleven a cabo las correspondientes actividades para iniciar el proceso de Evaluación del Impacto Medioambiental y crear las leyes medioambientales necesarias. Esto garantiza la preparación para el mayor desarrollo de la opción nuclear.

2. El inicio del programa de energía nuclear comercial requiere de un mayor desarrollo de las leyes y regulaciones para el otorgamiento de permisos, diseño y construcción de plantas de energía nuclear.

3. El actual sistema regulador no es suficiente para el programa nuclear comercial. Requiere de un mayor desarrollo para crear un Organismo Regulador independiente en base al Convenio de Seguridad Nuclear y al proceso de otorgamiento de permisos para plantas de energía nuclear comerciales.

4. Se han enumerado los pasos necesarios para Chile, incluyendo:

- Desarrollo del personal de regulación y su competencia
- Proporcionar a la Organización de Seguridad Técnica correspondiente los programas computacionales apropiados para el análisis de seguridad, con el fin de respaldar el trabajo regulador
- Establecer en Chile el adecuado sistema de educación y capacitación
- Iniciar el programa de investigación orientado a la administración nuclear y de desechos a nivel nacional.

Éstos son los pasos necesarios para establecer un programa nuclear exitoso, desde el punto de vista de la dotación de personal y competencia.

5. El Ministerio del Medio Ambiente está desarrollando el proceso de Evaluación del Impacto Medioambiental. El programa de investigación nacional es necesario para la selección del sitio y para establecer los conocimientos detallados sobre condiciones medioambientales en Chile, con el objeto de definir los requerimientos de diseño para las instalaciones nucleares (efectos sísmicos, posibilidades de efectos volcánicos, clima, Chile tiene uno de los desiertos más áridos del mundo, etc.).

6. Es necesario efectuar los estudios de factibilidad para definir la base de diseño y otras condiciones para las plantas de energía nuclear comerciales. Para un proyecto exitoso sin grandes sorpresas ni retrasos y con el fin de predecir los costos, es necesario contar con una opción de diseño probado y un

proveedor de planta confiable en lo que respecta a las plantas de referencia. Si es posible, se prefiere una entrega “llave en mano” para minimizar el riesgo económico. Se deberá definir el rol del gobierno en el proyecto.

7. La creación de un proceso consultivo nacional, incluyendo a los interesados y público general, es importante para la transparencia y la confianza pública. Dicho programa podría involucrar a miembros del Parlamento y público general, además de otros interesados, en conversaciones abiertas y transparentes, donde se presentará información de investigación sólida sobre necesidades energéticas, asuntos de seguridad nuclear, administración de desechos y medio ambiente.

8. Se insta a completar la autoevaluación del estado del desarrollo de la infraestructura nuclear chilena, de acuerdo con las pautas de la IAEA y, luego de ello, disponer una revisión independiente de la autoevaluación. La evaluación debería producir un claro programa de trabajo para cada asunto evaluado.

7. Referencias

1. a. Contrato entre CNE y STUK,
   b. Comisión Chilena de Energía, Términos de Referencia, Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional, Santiago de 2008
2. STUK, Informe de Desarrollo de Actividades, Enero de 2009
3. IAEA, Convenio sobre Seguridad Nuclear, Serie Legal IAEA N° 16, IAEA, Viena, 1994.
4. Informe Argentino para el Convenio sobre Seguridad Nuclear, 2004/2007
5. Tercer/ Cuarto Informe de Brasil para el Convenio sobre Seguridad Nuclear, 2004/2007.
6. Informe Canadiense para el Convenio sobre Seguridad Nuclear, 2004/2007
7. El Tercer/ Cuarto Informe de EE.UU. para el Convenio sobre Seguridad Nuclear, 2004/2007.
8. España, Tercer/ Cuarto Informe Nacional para el Convenio sobre Seguridad Nuclear, 2004/2007.
9. STUK, Informe Finlandés sobre Seguridad Nuclear, Cuarto Informe Finlandés, como se lo menciona en el Artículo 5 del Convenio sobre Seguridad Nuclear, STUK-B 80 / SEPTIEMBRE DE 2007.
10. ASN, Francia, Convenio sobre Seguridad Nuclear, Tercer/ Cuarto Informe Nacional, ASN, 2004/2007.
11. Tercer/ Cuarto Informe Nacional para el Convenio de Seguridad Nuclear, República de Corea, 2004/2007.
12. OECD, Informe de Estado sobre Filosofía de Inspección Reguladora, prácticas de Inspección y Organización de Inspección, Grupo de Trabajo sobre Prácticas de Inspección (WGIP), NEA/CNRA/R(2001)8, París de 2001.
13. IAEA, Infraestructura Legal y Gubernamental para desechos Nucleares, Radiológico y Radioactivos y Serie de Normas de Seguridad IAEA N° GS-R-1, Viena 2000 y Seguridad del Transporte.
14. IAEA, Organización y Dotación de Personal del Organismo Regulador para Instalaciones Nucleares, Serie de Normas de Seguridad IAEA N° GS-G-1.1, Viena 2002.
15. IAEA, Revisión y Evaluación de Instalaciones Nucleares por parte del Organismo Regulador, Serie de Normas de Seguridad IAEA N° GS-G-1.2, Viena, 2002.

16. IAEA, Inspección Reguladora de Instalaciones Nucleares y Aplicación por parte del Organismo Regulador, Serie de Normas de Seguridad IAEA N° GS-G-1.3, Viena, 2002.
17. IAEA, Preparación y Respuesta ante una Emergencia Nuclear o Radiológica, Serie de Normas de Seguridad IAEA N° GS-R-2, Viena de 2002.
18. STUK, Control regulador de seguridad en instalaciones nucleares, Pauta YVL 1.1, Helsinki, 2006.
19. INSAG, Independencia en la toma de decisiones reguladoras, INSAG-17, IAEA, 2003.
20. INSAG, Participación de las personas interesadas en Asuntos Nucleares, INSAG-20, IAEA, 2003.
21. INSAG, Fortalecimiento del Régimen de Seguridad Nuclear Global, INSAG-21, IAEA Viena, 2006.
22. INSAG, Infraestructura de Seguridad Nuclear para el Programa Nacional de Energía Nuclear Respaldado por los Principios Fundamentales de Seguridad IAEA, INSAG-22, IAEA Viena, 2008.
23. IAEA, Seguridad de las Plantas de Energía Nuclear: Diseño, Serie de Normas de Seguridad IAEA N° NS-R-1, Viena, 2000.
24. Consideraciones para el Lanzamiento de un Programa Nuclear, IAEA, 2007
25. Infraestructura Básica para un Proyecto de Energía Nuclear, IAEA-TECDOC-1513, Junio de 2006.
26. Potencial para el Intercambio de Infraestructura de Energía Nuclear entre Países, IAEA-TECDOC-1522, Octubre de 2006.
27. Administración de la Primera Planta de Energía Nuclear, IAEA-TECDOC-1555, Mayo de 2007.
28. Consideraciones de Usuario Común (CUC) de Países en Vías de Desarrollo para Futuras Plantas de Energía Nuclear, IAEA, 2008
29. Hitos en el Desarrollo de una Infraestructura Nacional para Energía Nuclear, Serie de Normas de Energía Nuclear IAEA N° NG-G-3.1, 2007.
30. Evaluación del Estado del Desarrollo de la Infraestructura Nuclear Nacional, Serie de Normas de Energía Nuclear IAEA N° NG-T-3.2, 2008.
31. Responsabilidades y Competencias de una Organización que Implementa el Programa de Energía Nuclear (NEPIO) para un Programa Nacional de Energía Nuclear, IAEA, Borrador Final 2008-11-24.
32. PERFILES DE ENERGÍA NUCLEAR A NIVEL PAÍS – EDICIÓN 2007, IAEA, VIENA, 2008 IAEA-CNPP/2008/CD ISBN 92-0-114505-5, Enero de 2008.
33. Páginas web de las organizaciones del marco regulador pertinente, 2008
34. Legislación Nuclear, Gobierno de Chile, Comisión Chilena de Energía Nuclear, 2006.
35. La Opción Nucleoeléctrica en Chile, Grupo de Trabajo Nucleoeléctrico, Gobierno de Chile, 2008

Anexo 1. Enfoque relativo a las pautas de regulación

A continuación se presentan como ejemplo las pautas de regulación brasileñas para el programa de la planta de energía nuclear, con el objeto de demostrar qué tipo de pautas se necesitan y utilizan generalmente en el trabajo de regulación. La lista también muestra las competencias necesarias en el organismo regulador para tratar los asuntos técnicos correspondientes. La lista ha sido extraída de la referencia /5/. Listas similares pueden obtenerse, por ejemplo, de los organismos reguladores Argentinos y Finlandeses /4, 9, para comparar el alcance de las regulaciones entre países.

Regulaciones CNEN

- NE 1.04 – Otorgamiento de permisos para instalaciones nucleares
- NN 1.14 – Informes de operación para plantas de energía nuclear
- NE 1.16 – Control de calidad para la seguridad de plantas de energía nuclear y otras instalaciones
- NE 1.17 – Calificación y certificación del personal para pruebas no destructivas en componentes de plantas de energía nuclear
- NE 1.18 – Conservación preventiva de plantas de energía nuclear
- NE 1.19 – Calificación de programas de cálculo para el análisis de accidentes con pérdida de refrigerante en reactores de agua presurizada
- NE 1.20 – Criterios de aceptación para sistema de emergencia de refrigeración de núcleo para reactores de agua ligera
- NE 1.21 – Mantenimiento de plantas de energía nuclear
- NE 1.22 – Programa meteorológico en respaldo a las plantas de energía nuclear
- NE 1.25 – Inspección en servicio de las plantas de energía nuclear
- NE 1.26 – Seguridad operacional de las plantas de energía nuclear
- NE 1.28 – Calificación y actuación de las organizaciones de supervisión técnica independientes en plantas de energía nuclear y otras instalaciones
- NN 1.01 – Otorgamiento de permisos a operadores del reactor nuclear
- NN 1.06 – Requerimientos de salud para operadores del reactor nuclear
- NN 1.12 – Calificación de organizaciones de supervisión técnica independientes para instalaciones nucleares
- NN 1.15 – Supervisión técnica independiente en actividades de control de calidad en plantas de energía nuclear
- NE 2.01 – Protección Física en unidades operacionales del área nuclear
- NE 2.03 – Protección contra incendios en plantas de energía nuclear
- NN 3.01 – Directrices de protección radiológica
- NE 3.02 – Servicios de protección radiológica
- NE 3.03 – Certificación de la calificación de supervisores de protección radiológica
- NE 5.01 – Transporte de materiales radioactivos
- NE 5.02 – Transporte, recepción, almacenamiento y manipulación de combustible en plantas de energía nuclear
- NE 5.03 - Transporte, recepción, almacenamiento y manipulación de ítems en plantas de energía nuclear
- NE 6.05 – Administración de desechos radioactivos en instalaciones nucleares

Regulaciones de CONAMA

- CONAMA – 01/86 – Establece requerimientos para la realización de estudios medioambientales (EIA) y preparación del informe sobre impacto medioambiental (RIMA).
- CONAMA-28/86 - Dirige FURNAS para preparar un EIA/RIMA para las plantas de energía nuclear Angra 2 y 3
- CONAMA-09/86 – Regula los asuntos relativos a audiencias públicas
- CONAMA-06/86 – Establece y aprueba modelos para la solicitud de permisos
- CONAMA-06/87 – Regula el otorgamiento de permisos medioambientales a grandes empresas, especialmente en el área de generación de energía eléctrica
- CONAMA-237/97 – Establece procedimientos para el otorgamiento de permisos medioambientales a diversos tipos de empresas

Regulaciones SIPRON

- NG-01 – Norma general de la Comisión de Coordinación para la Protección del Programa Nuclear Brasileño
- NG-02 – Norma general de planificación de respuesta a situaciones de emergencia
- NG-03 – Norma general de integridad física y situaciones de emergencia en instalaciones nucleares
- NG-04 – Norma general para situaciones de emergencia en las unidades de transporte

Anexo 2.1 Organizaciones gubernamentales

A continuación se representan las organizaciones a nivel de gobierno en base a la información contenida en las referencias /4-12/. Algunas de las unidades organizativas menos importantes desde el punto de vista de este estudio se han combinado o apartado para concentrarse en los asuntos claves. Las configuraciones organizativas completas pueden encontrarse en las referencias. /4-12/.

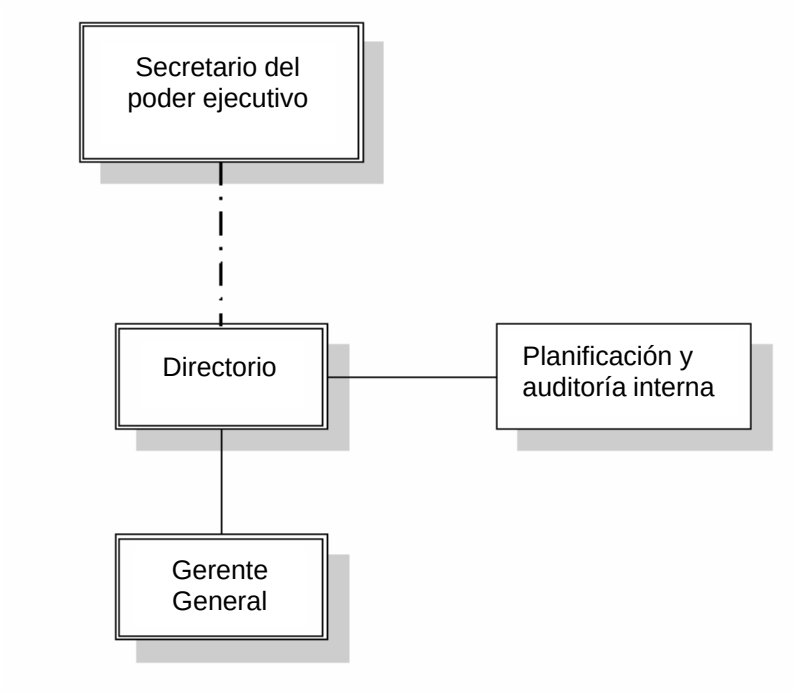


Figura A2:1. Organización gubernamental para el organismo regulador en Argentina. /4, 12/

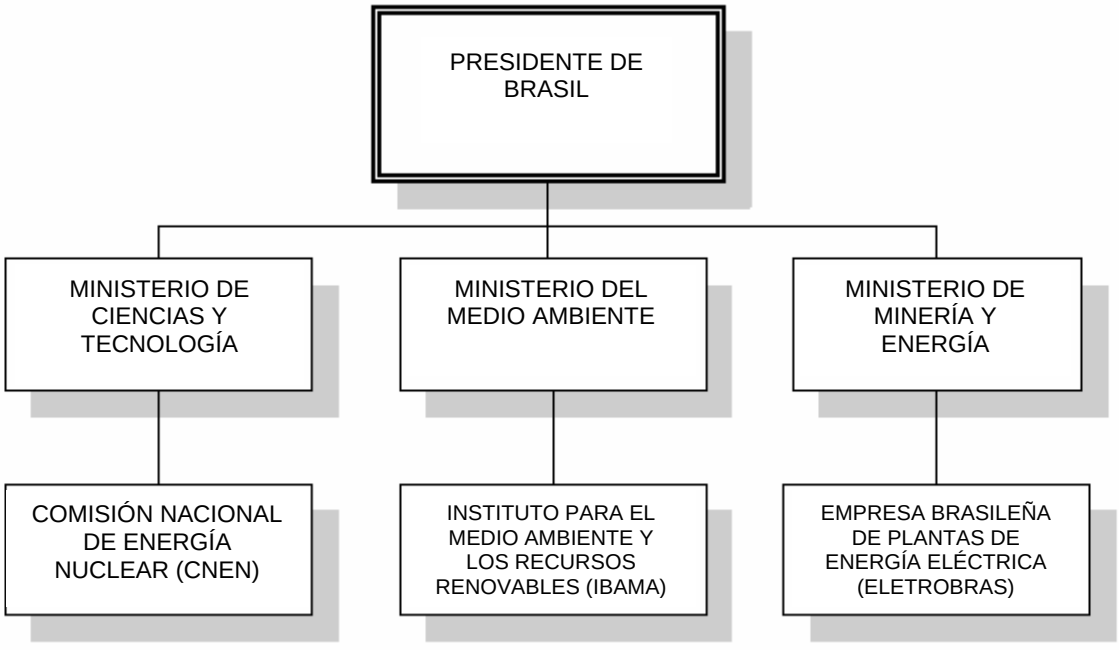


Figura A2:2. Organización gubernamental para el organismo regulador en Brasil. /5/

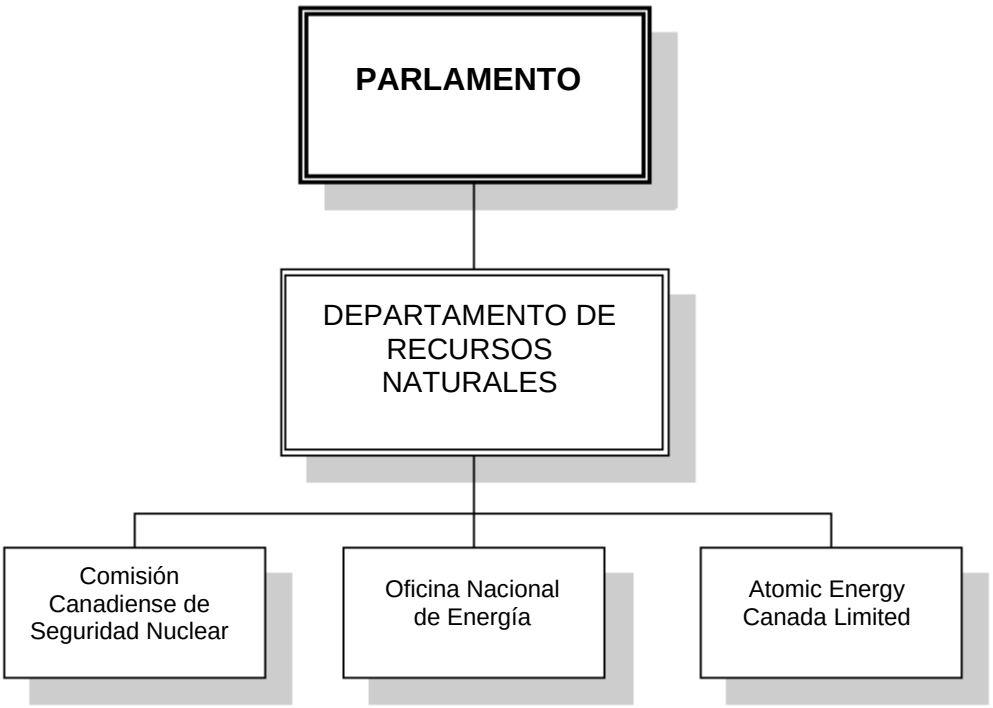


Figura A2:3. Disposición de las organizaciones gubernamentales para seguridad nuclear en Canadá /6, 12/

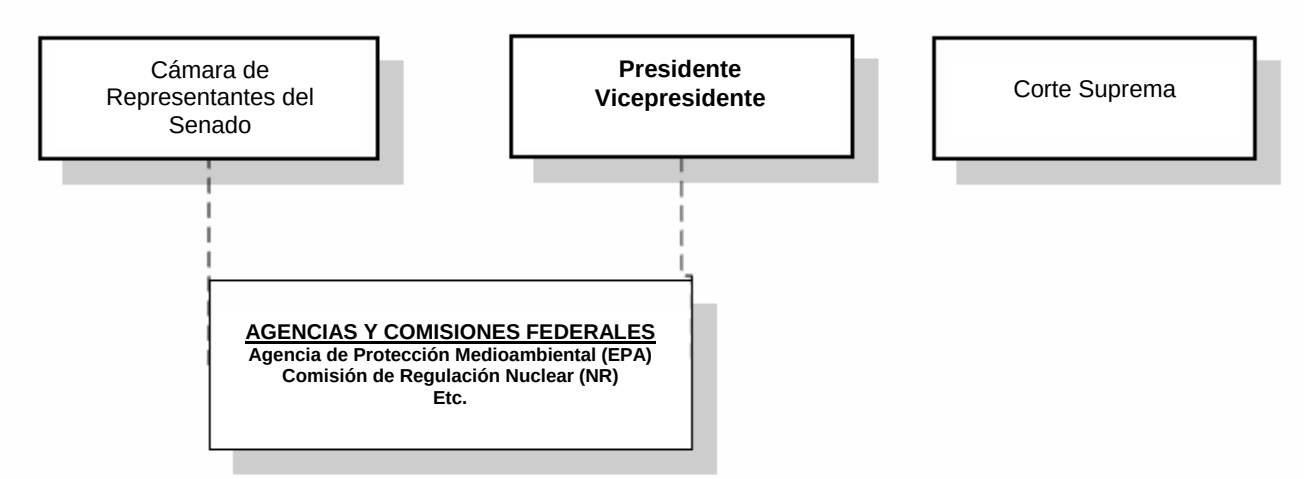


Figura A2:4. Estructura organizativa gubernamental en EE.UU. /7, 12/

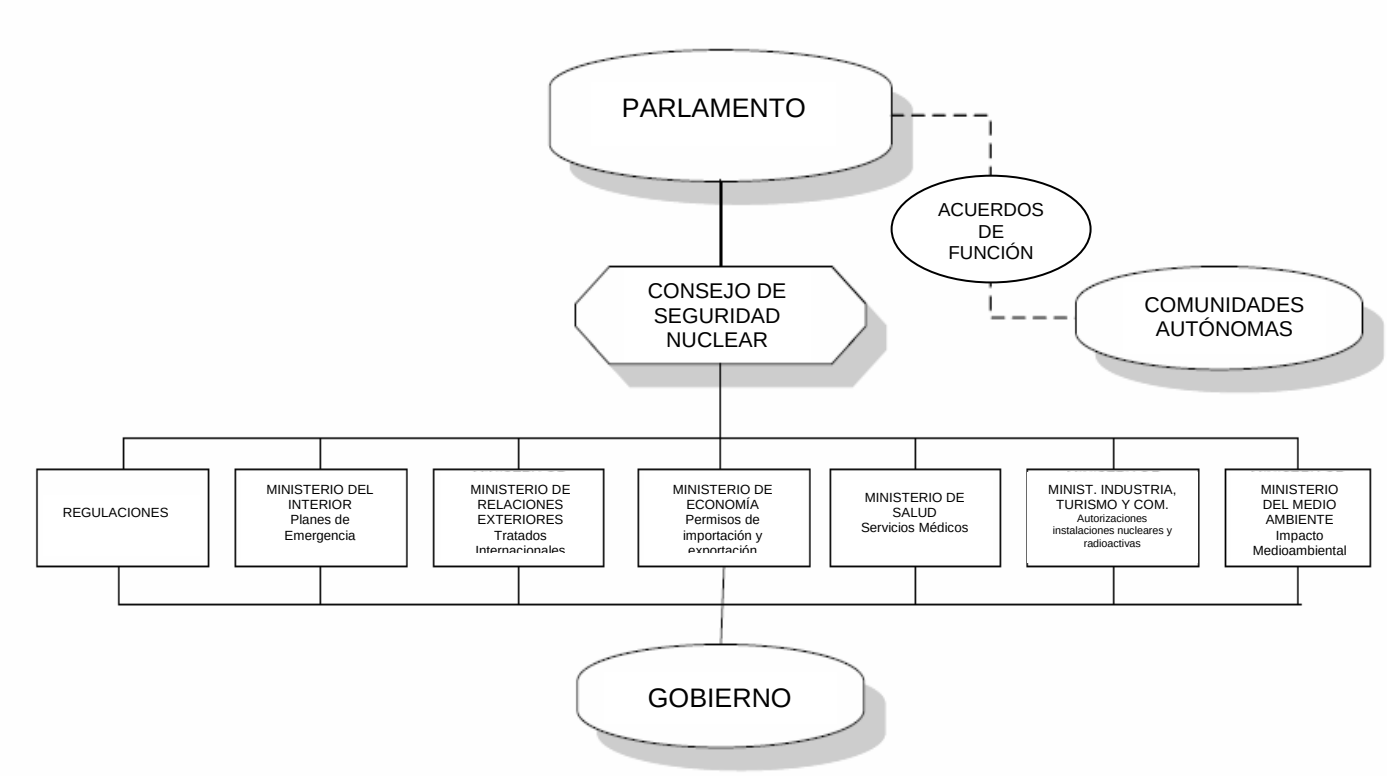


Figura A2:5. Disposición organizativa gubernamental del organismo regulador para seguridad radiológica y nuclear en España /8, 12/

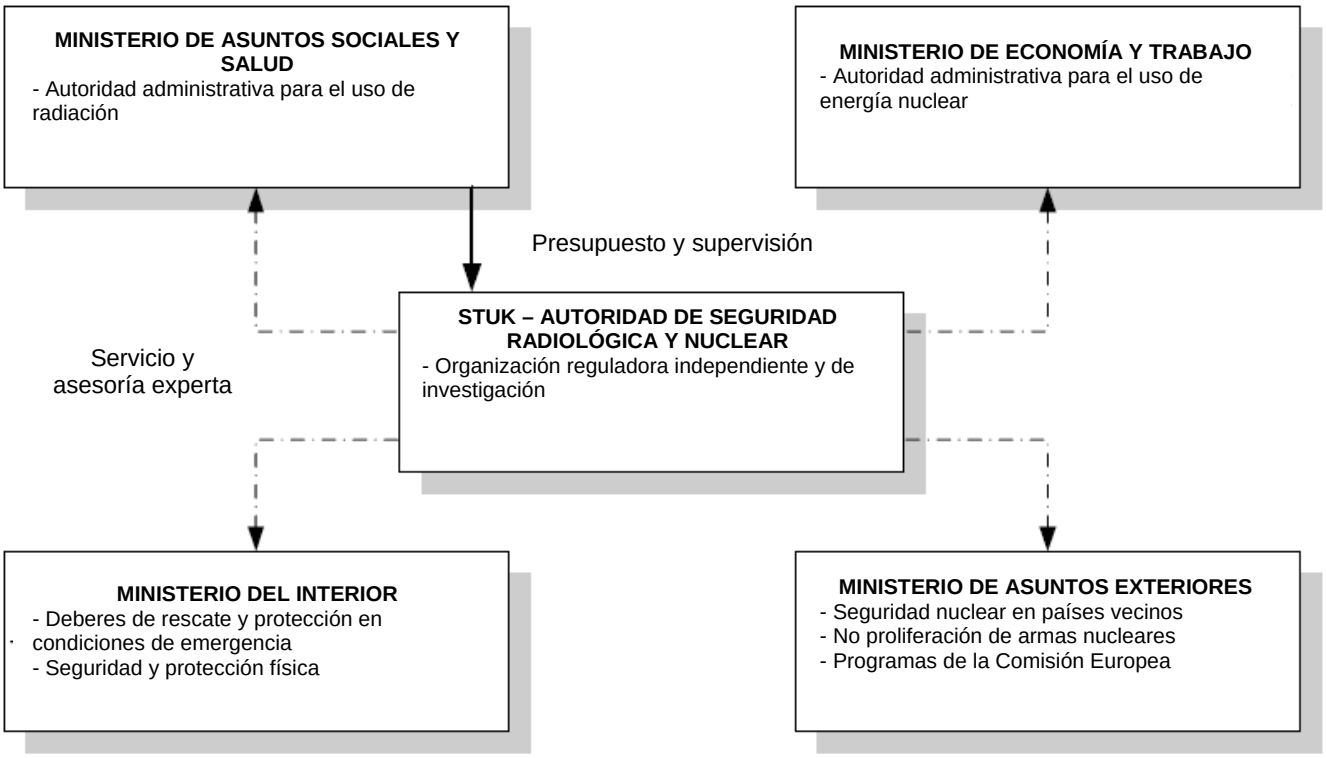


Figura A2:6. Principales contactos entre STUK y los Ministerios en Finlandia /9/

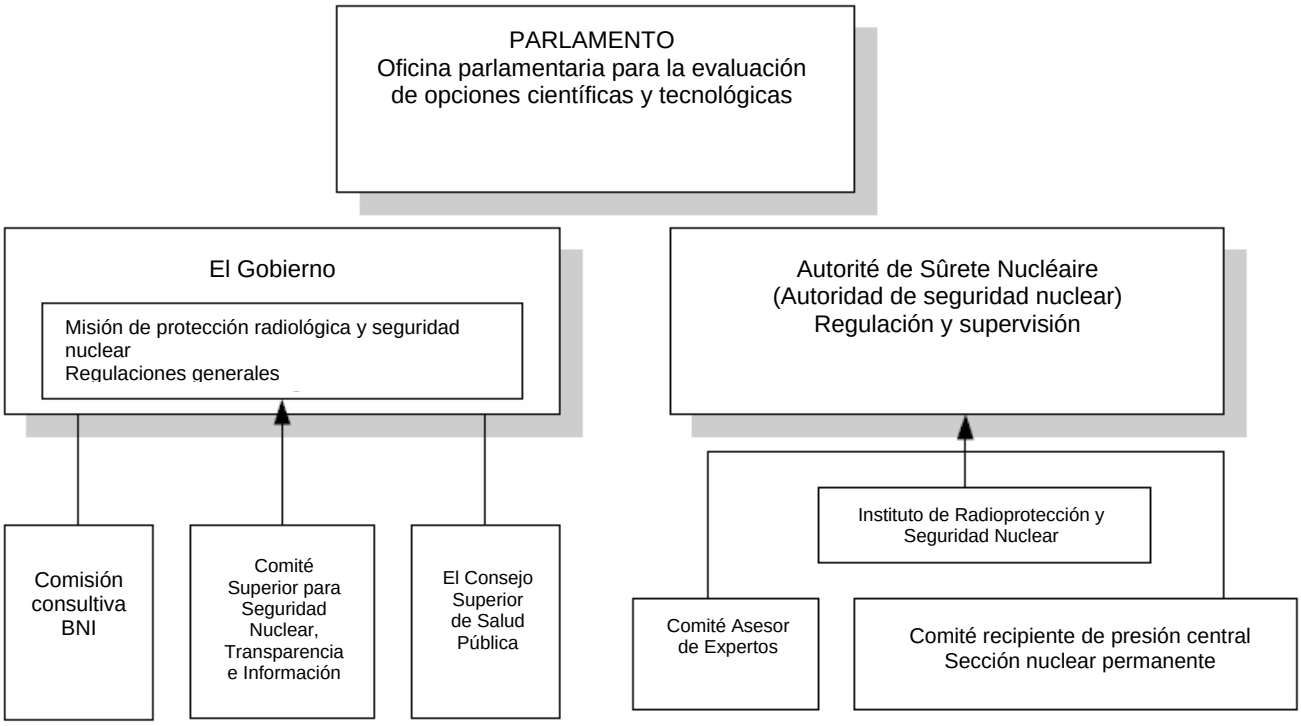


Figura A2:7. Disposición organizativa gubernamental del organismo regulador para seguridad nuclear en Francia /10, 12/

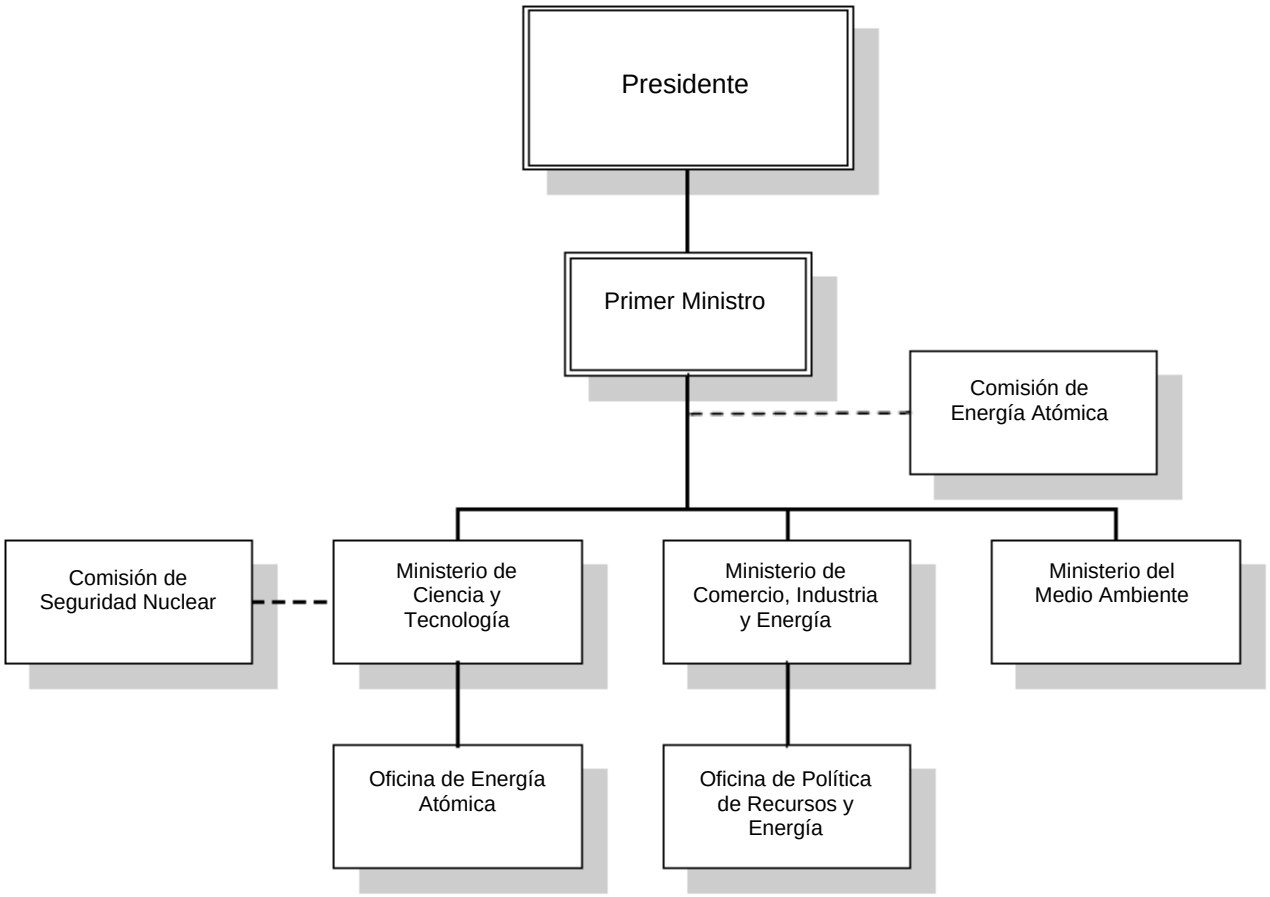


Figura A2:8. Organizaciones Gubernamentales relacionadas con la Energía Nuclear en la República de Corea /11, 12/

Anexo 2.2. Organizaciones reguladoras

A continuación se presentan las organizaciones reguladoras basadas en la información en las referencias /4-12/. Algunas de las unidades organizativas menos importantes desde el punto de vista del estudio han sido combinadas o apartadas para concentrarse en los asuntos claves. Las configuraciones organizativas completas pueden encontrarse en las referencias /4-12/.

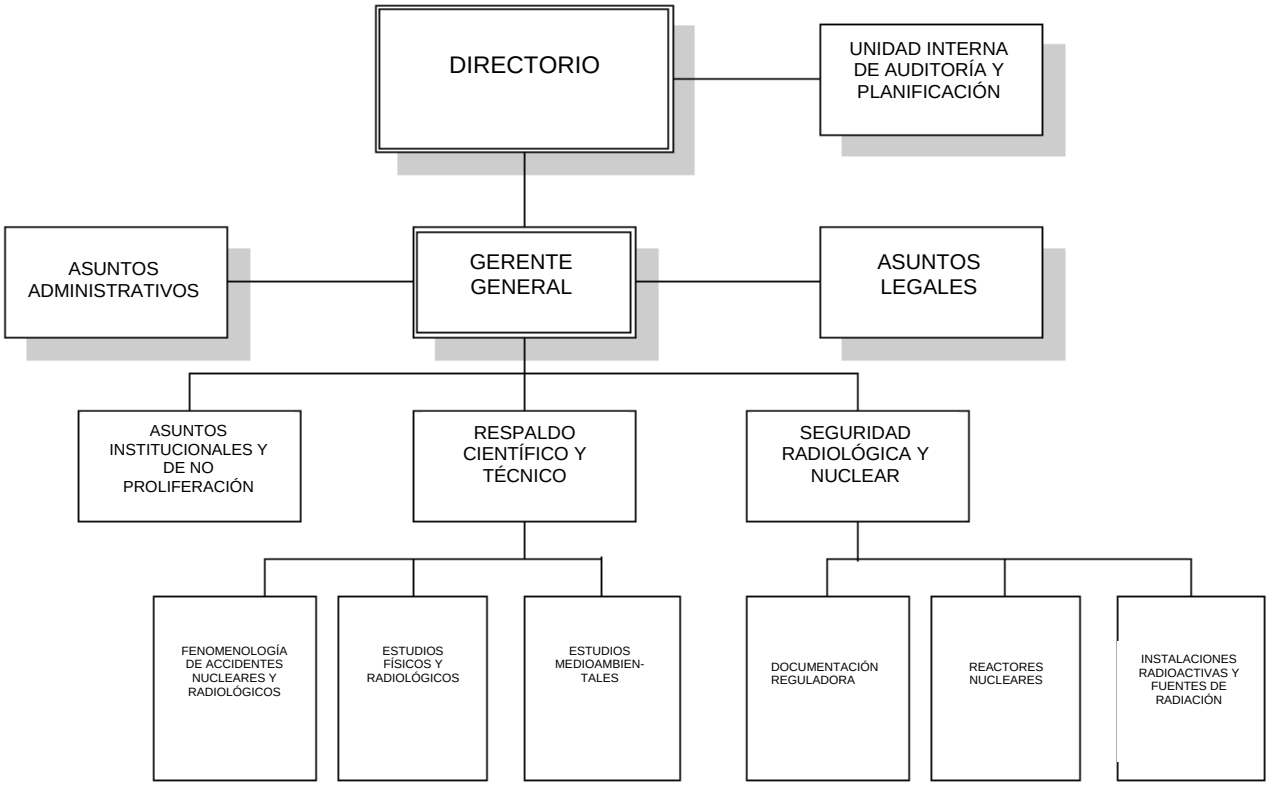


Figura A2:9. Organigrama del organismo regulador para seguridad radiológica y nuclear, ARN en Argentina /4, 12/

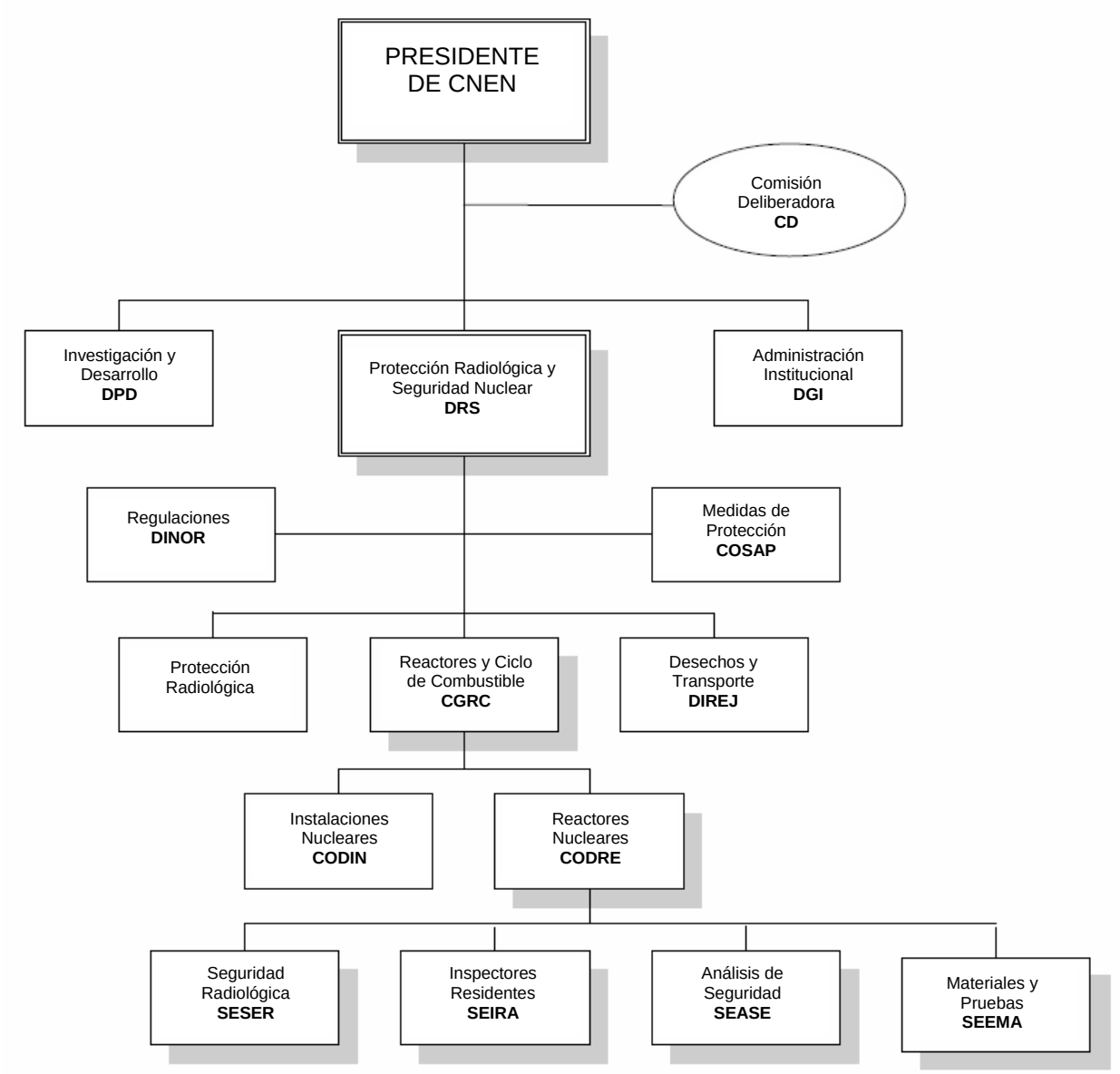


Figura A2:10. Estructura del organismo regulador, CNE (simplificada) en Brasil /5/

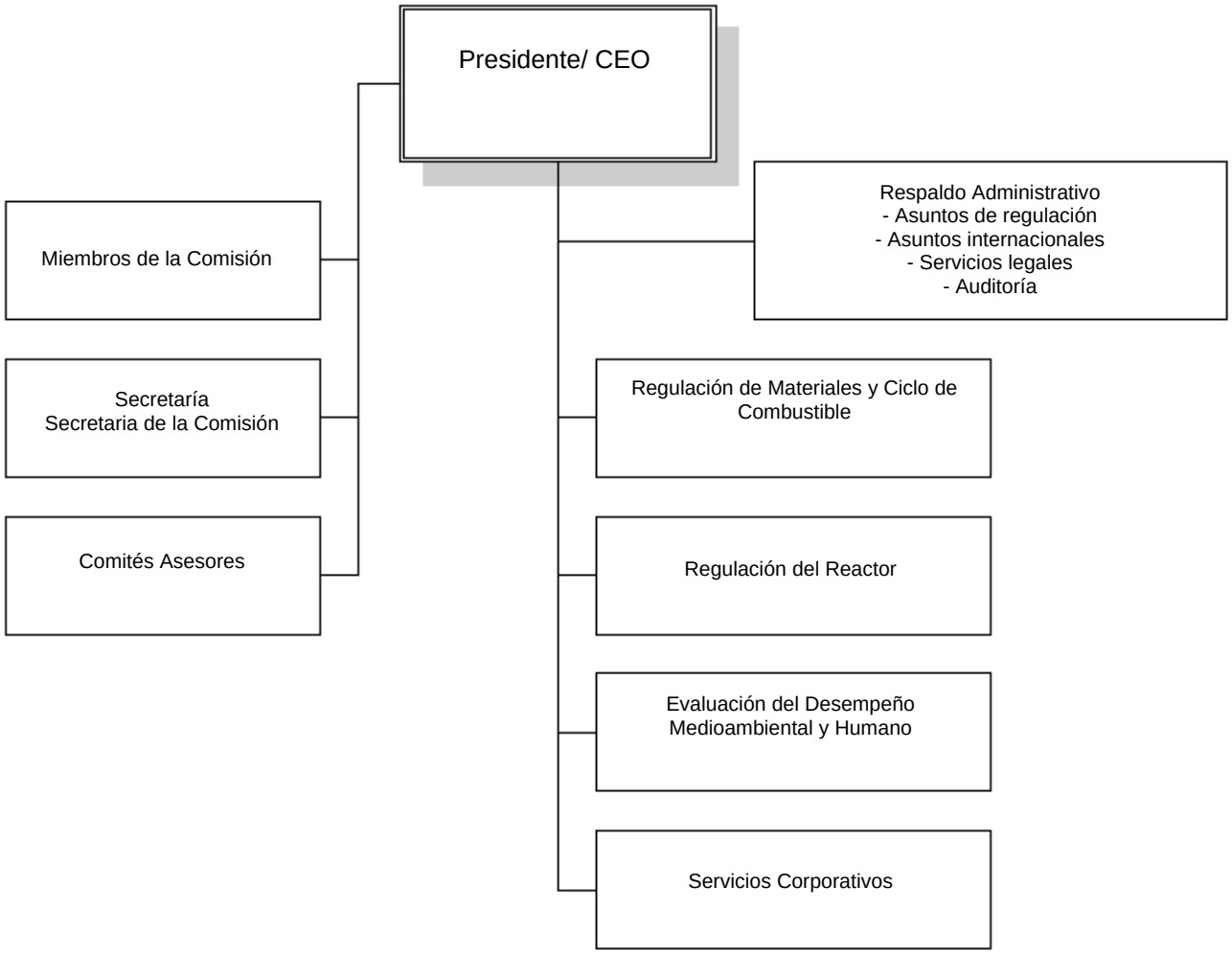


Figura A2:11. Disposición organizativa de la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC) /6, 12/.

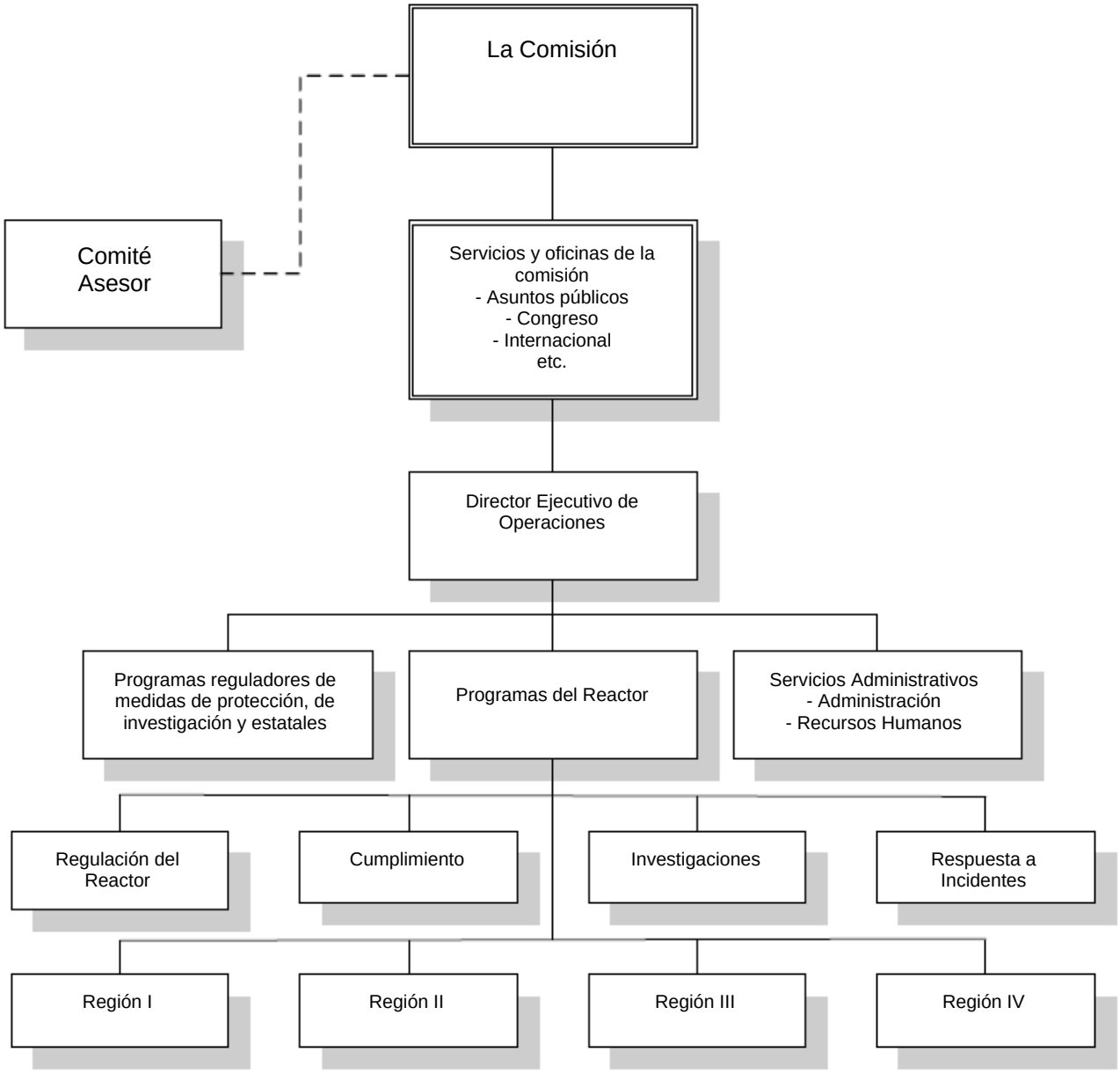


Figura A2:12. Disposición organizativa en el organismo regulador, Comisión Reguladora Nuclear, NRC /7, 12/.

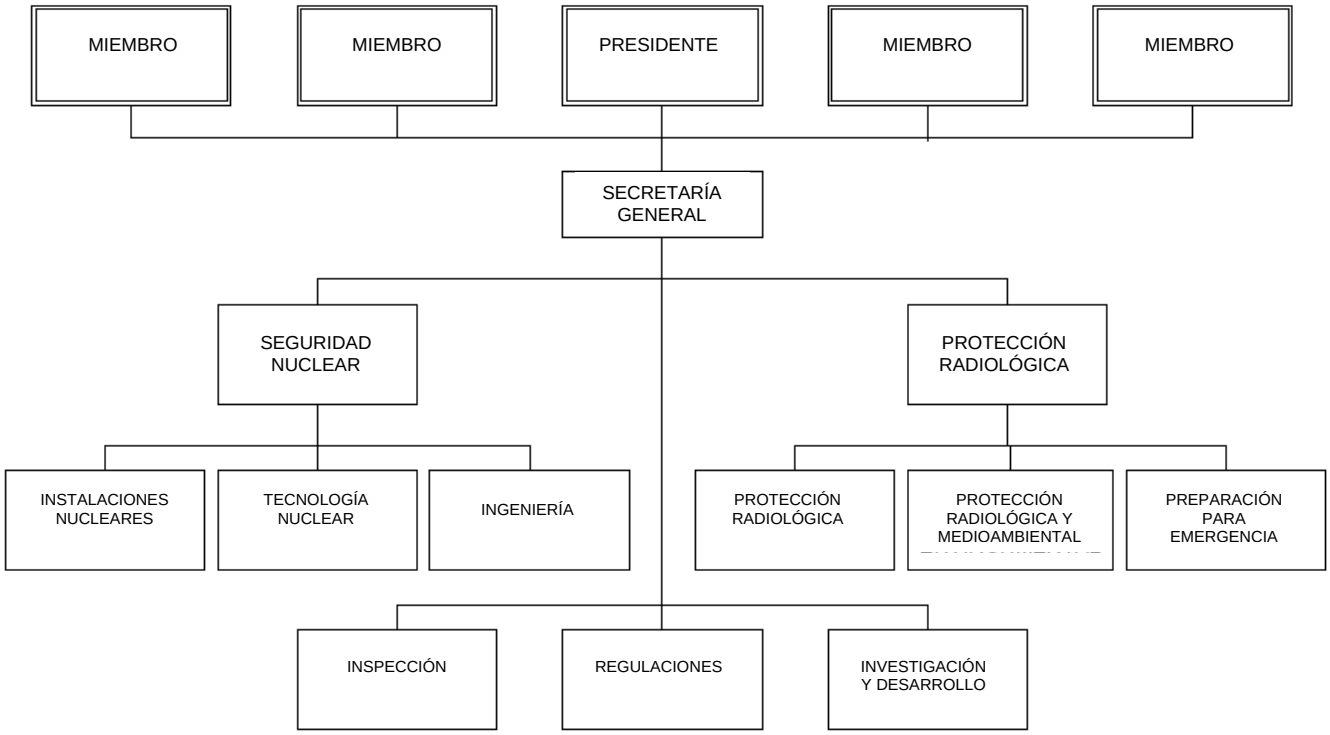


Figura A2:13. Disposición organizativa para el organismo regulador de seguridad radiológica y nuclear, CSN en España /8, 12/.

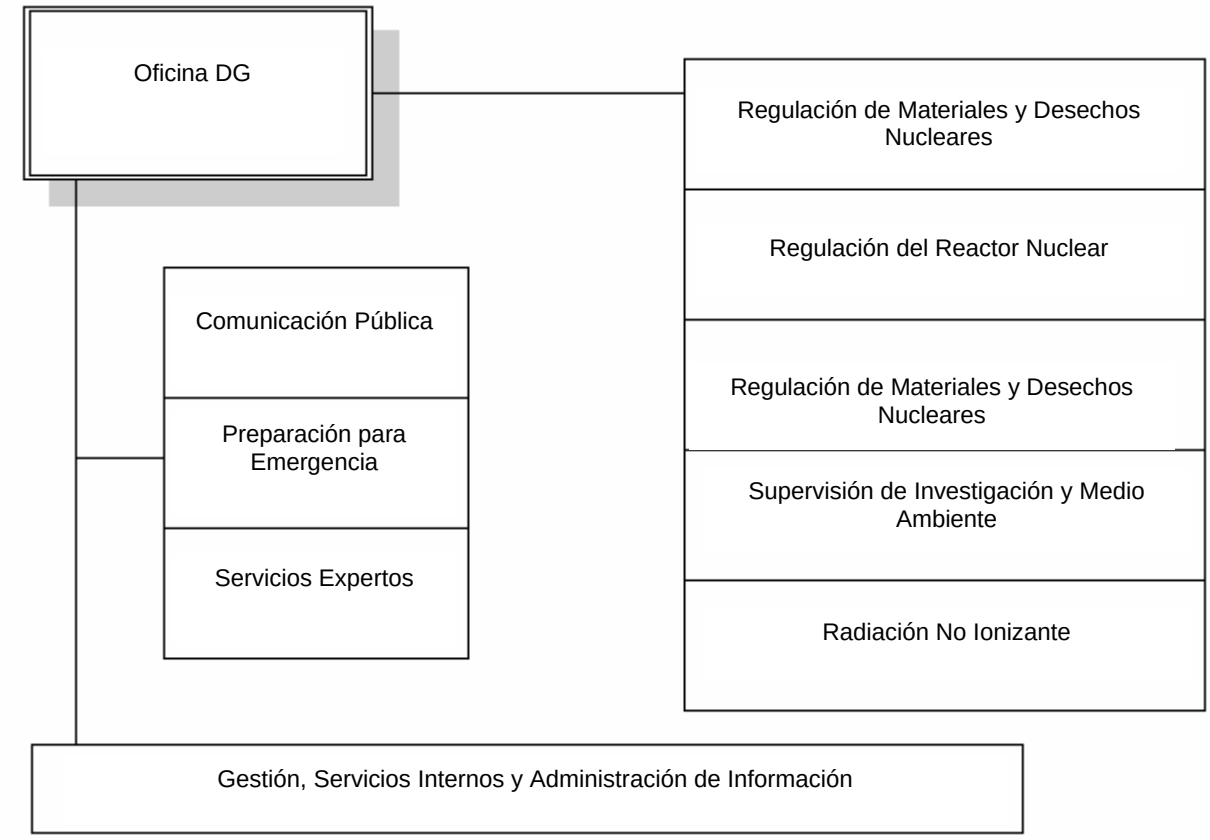


Figura A2:14. Organización de STUK en Finlandia /9/

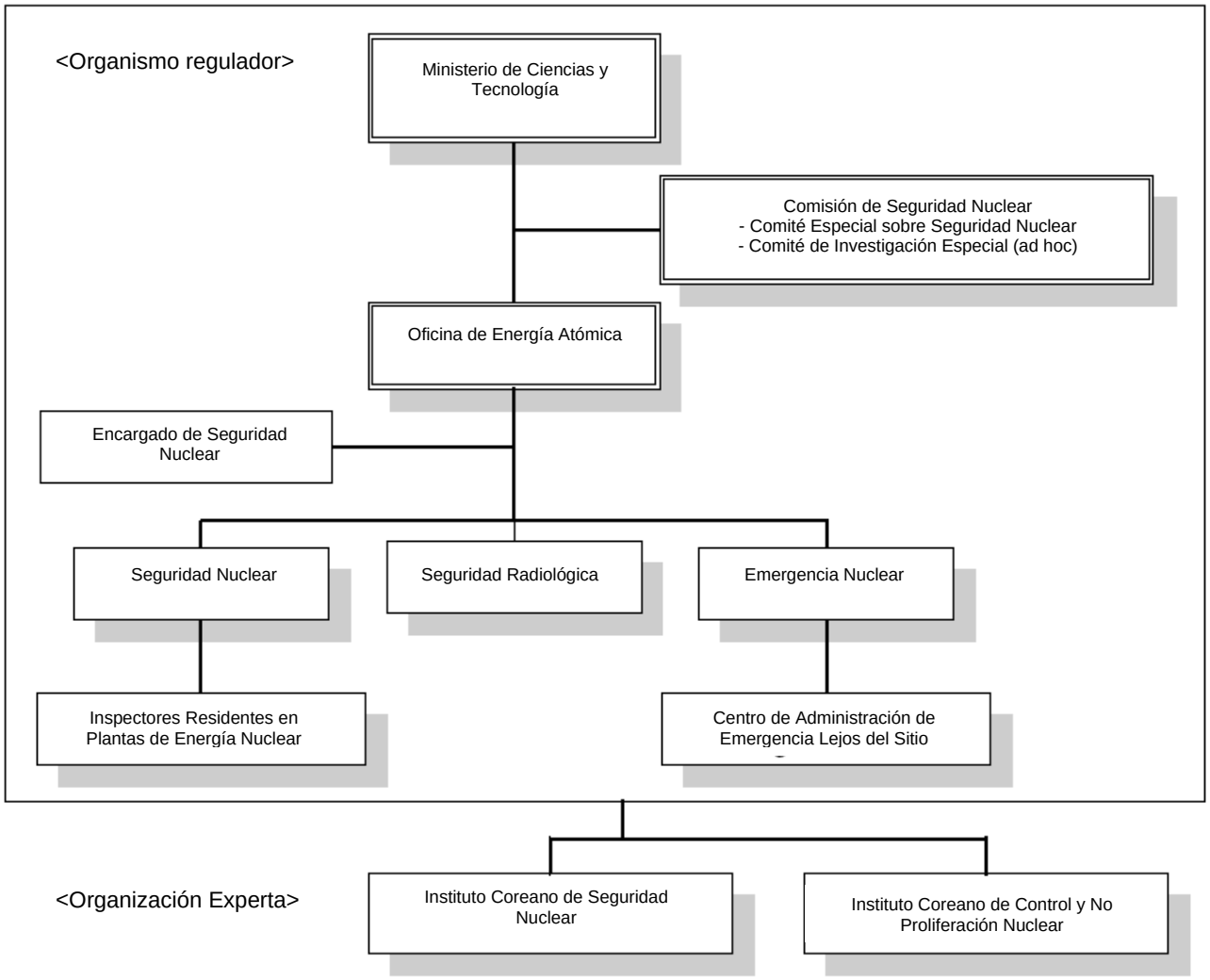


Figura A2:15. Sistema Regulador de Seguridad Nuclear en la República de Corea /11, 12/

REPORTE FINAL

Consultoría Estudios y Comunicaciones
“Asesoría técnica en la elaboración de un programa de comunicaciones para avanzar a una toma de decisión informada y participativa sobre el desarrollo de infraestructura nuclear”.
Diciembre 2009

TIRONI ASOCIADOS

LICITACION Nº610-3-LP09
TIRONI ASOCIADOS para Comisión Nacional de Energía

INDICE DE CONTENIDOS REPORTE FINAL DE CONSULTORIA

Contenidos	Páginas
PRIMERA PARTE. EVALUACION Y DIAGNOSTICO: SINTESIS ESTUDIOS DE OPINION CIUDADANA	
INTRODUCCION	3
I.ESTUDIO GRUPOS FOCALES	6
II.ENCUESTA CIUDADANA	15
III.ESTUDIO LIDERES DE OPINION	28
IV.RECONSTRUCCION HISTÓRICA	38
V.CONCLUSIONES	50
SEGUNDA PARTE. ESTRATEGIA DE COMUNICACIONES	
INTRODUCCION	52
I. MARCO CONCEPTUAL	53
II. EJE ESTRATEGICOS	59

PRIMERA PARTE
EVALUACION Y DIAGNOSTICO: SINTESIS ESTUDIOS DE OPINION CIUDADANA

INTRODUCCIÓN DE PARTE I

La primera sección de este informe presenta los principales resultados de los estudios realizados en el contexto de esta consultoría. Por su parte cada uno de los estudios tiene un informe unitario y detallado, presentado en el Primer Informe de Consultoría. En este reporte se presenta un resumen de la fase de investigación, que fue desarrollada por **TIRONI Asociados en conjunto con el Instituto de Sociología de la Universidad Católica**.

Para recoger la complejidad y la diversidad de las percepciones ciudadanas acerca de la energía nuclear (o nucleoeléctrica), definido como tal por la licitación pública que dio origen a este trabajo, hizo necesario concebir un diseño de investigación que fuese capaz de capturar dimensiones múltiples, públicos heterogéneos y aspectos racionales, emocionales y discursivos.

Con miras a cumplir ese propósito multidimensional se llevaron a cabo cuatro estudios principales, los que serán presentado en este informe en el siguiente orden: El primero, en el orden más cualitativo, fue un conjunto de **estudios focales con diversos grupos ciudadanos** (Capítulo I). El segundo consistió en una **encuesta masiva de opinión**, centrada en obtener resultados de tipo cuantitativo (Capítulo II). El tercero, también cualitativo, fue una serie de **entrevistas en profundidad a líderes de opinión** estimados representativos de la población informada (Capítulo III). Por fin un cuarto estudio consistió en una **reconstrucción histórica del debate nuclear en Chile a través del análisis de contenido**, utilizando archivos de prensa (Capítulo IV).

Antes de la presentación de la síntesis de resultados de dichos estudios, brevemente se abordará aspectos metodológicos generales.

1. Diseño metodológico general: Sobre las dimensiones de análisis

El conjunto de los estudios permitió establecer diferentes niveles y dimensiones de análisis. Así, en un primer nivel se identificó dos dimensiones de indagación: una racional y otra emocional.

La **dimensión racional** se centra en los factores derivados del nivel de información que manejan las personas (*stakeholders*, líderes de opinión, opinión general) sobre los temas principales vinculados con la energía nuclear.

La **dimensión emocional** se refiere, en cambio, a la expresión de sentimientos sin necesidad de fundamentación, que es el espacio donde se expresan con mayor nitidez los temores, las necesidades y las ansiedades del público.

Como parte de un segundo nivel de análisis se definieron las dimensiones de conocimiento, actitudes y percepción futura o proyectiva.

En materia de **conocimiento,** los estudios buscan identificar la cantidad y calidad de la información que se tiene la energía nucleoeléctrica y el problema energético en general, como base de las percepciones y de las asociaciones espontáneas que rodean a ambos temas. Cabía esperar, como finalmente se demostró que un país como Chile, con muy escasas experiencias en energía nuclear, el conocimiento fuese bajo y difuso.

En un plano algo más práctico se sitúa la identificación de **actitudes y conductas,** normalmente asociadas a expectativas, inquietudes y temores, que las personas podrían adoptar frente a situaciones reales relacionadas con la energía nuclear. Los estudios buscan también la prioridad asignada a las materias energéticas en el marco de otros problemas sociales y de devastes globales, como el del cambio climático.

Por último, en un terreno más especulativo pero con fuerte orientación práctica, los estudios apuntan a generar indicios sobre cómo serían las **percepciones futuras** bajo ciertos cambios en el entorno, en la calidad y cantidad de información y en las políticas adoptadas por el Estado y otros actores en la configuración de un modelo de desarrollo de largo plazo, que incorpore las variables de crecimiento y sustentabilidad. Sin entender este marco sería muy difícil comprender integralmente cómo se percibe la energía nucleoeléctrica en Chile.

2. Diseño metodológico general: Sobre los públicos objetivos.

Respecto a los públicos objetivo del estudio, el diseño general de la investigación estableció como prioridad consultar a la **opinión pública general, *stakeholders* y líderes de opinión y la prensa** como un público en sí mismo desde una perspectiva histórica.

Ciudadanía o la llamada "opinión pública". Dado que uno de los objetivos fue capturar no sólo la información formal-racional que la ciudadanía tienen sobre la energía nuclear, sino también su dimensión emocional, fue menester enfrentar el estudio de la percepción desde los discursos e imaginarios que se han construido en torno a la EN.

También fue crucial para la elaboración de una decisión informada y participativa sobre el desarrollo de infraestructura nuclear que se conozca el nivel de conocimiento formal de la ciudadanía. Asimismo, fue importante saber cómo evalúa la ciudadanía ciertos elementos claves dentro de la temática nuclear y cómo actúa (o actuaría) ante determinadas circunstancias energéticas.

***Stakeholders* y líderes de opinión**. Los debates no sólo están mediados por la prensa, sino también por los líderes de opinión: toda sociedad tiene *trendsetters* que van imponiendo visiones, sensibilidades y expectativas. En el caso de la

energía nuclear, existe una comunidad de líderes en el tema, en los ámbitos técnico, gubernamental, académico, social o empresarial.

Fue de primera importancia conocer qué opinaban estos líderes y porqué, qué expectativas futuras tienen y cuáles son los nudos institucionales, técnicos y culturales que visualizan como más importantes.

Prensa y debate. Para abarcar la complejidad envuelta sobre las percepciones sobre energía nuclear fue necesario conocer dos elementos centrales: cómo había sido "mediada" a través de la prensa y cómo ha evolucionado en el tiempo. Estos análisis son fundamentales para comprender uno de los principales mecanismos de construcción de la opinión pública y, por lo tanto, de nuestro entendimiento de la realidad. Allí ya es posible identificar qué tipo de mensajes se movilizan y quiénes se alzan como voceros.

En ese sentido, la evolución histórica de la problemática nuclear (y energética en general) es importante para identificar la dirección que ésta ha adoptado y porqué: qué hitos, eventos y mediaciones han influido en la construcción temática, su tono y su dirección. La evolución de una temática no se desenvuelve en el vacío, sino que está mediada por una serie de factores sociales y culturales: una revisión histórico-sociológica permitiría develar esa evolución.

Finalmente es importante señalar que **el diseño general de este estudio ha procurado establecer una línea base de información que permita a los tomadores de decisiones considerar las preocupaciones ciudadanas al respecto**. La temática de la energía nuclear tiene múltiples aristas y dimensiones que, por cierto, no se agotan en este estudio. Es un primer paso para que las autoridades lideren un debate amplio e informado en esta materia.

I. ESTUDIO DE GRUPOS FOCALES

1. METODOLOGÍA

El objetivo general de los grupos focales propuestos es explorar cualitativamente las percepciones, temores y expectativas de ciudadanos comunes respecto a la energía nuclear. Además, los grupos focales permitirían identificar temáticas que faciliten la construcción de un instrumento cuantitativo

Este informe presenta y sintetiza los resultados de seis *focus group* realizados en la Región Metropolitana entre el 24 y 29 de abril de 2009[1]. La selección de la muestra fue intencional, según criterios de sexo, edad y nivel socioeconómico, además de la diversidad de ocupaciones y de orientaciones políticas.

2. RESULTADOS

1. Imagen negativa

La imagen de la energía nuclear movilizada por los participantes es sistemáticamente negativa, por sobre cualquier diferencia socioeconómica, de género o edad. “Muerte”, “destrucción”, “bomba”, “Chernobyl”, “sucia” y “guerra” fueron algunos de los conceptos que aparecieron con mayor frecuencia en los discursos.

Estas imágenes permean diferentes discursos y opiniones, no sólo aquellos referidos explícitamente a la imagen o percepción de este tipo de energía: surgen también al comparar diferentes formas de producción de energía, al evaluar la factibilidad de la implementación de una planta o al exponer opiniones sobre frases particulares relacionadas con energía nuclear.

Estos imaginarios negativos en torno a la energía nuclear tienen dos ejes principales. Primero, la idea de desastre y guerra de destrucción masiva. De manera inicial, y sin ningún tipo de introducción o antecedente, la mayoría de los participantes vinculó la energía nuclear a “desastre nuclear”, sobre todo bajo la influencia de hechos históricos tales como Chernobyl o Hiroshima. Aunque con énfasis variados –“destrucción”, “bomba”, “uso bélico”, “desastre”-, casi todos los conceptos remitieron a la misma asociación entre energía nuclear y destrucción.

Esta percepción resultó más extendida entre las mujeres que entre los hombres, y fue prácticamente transversal en cuanto a edades y niveles socioeconómicos de los participantes. Cabe destacar, en el mismo sentido, que toda referencia al miedo o al temor de los hablantes se sustentó en estas referencias catastróficas.

[1] Sobre detalles y fundamentos del diseño metodológico de este estudio cualitativo, ver Reporte de Consultoría N1.

Un segundo eje de imaginarios negativos sobre la energía nuclear es el que la vincula, aun abstractamente, con la muerte. A diferencia del eje anterior, relacionado con eventos destructivos puntuales, en este caso se trata de referencias inespecíficas (“se me imagina como algo catastrófico”).

Estas opiniones remiten al accidente de Chernobyl y a la bomba atómica, pero se alejan de la singularidad de estos mismos eventos para mostrarse, de una forma más general, como una crítica a la modernidad y su paso avasallador y mortífero por el planeta. Los participantes hablaron, en este punto, de desolación, soledad y vacíos.

2. La naturaleza del miedo

La contraparte neutra, y en ocasiones con cierta connotación positiva, de esta percepción apuntó a la idea de que la energía nucleoeléctrica tiene una gran potencia: la contracara de su capacidad destructiva es su capacidad productiva.

Esta visión se encontró especialmente generalizada en el grupo D, donde la energía nuclear apareció fuertemente asociada con la tecnología y la modernidad, incluso con una modalidad de “futurismo”.

Sin embargo, la capacidad y la potencia se constituyen en una importante fuente de riesgo. La naturaleza de este riesgo es totalmente incierta, y se expresa en la dificultad (potencial, especulativa) de controlar “este gran poder”. El centro de la noción de riesgo radica, por tanto, en la pérdida de control, pérdida que parece más posible desde que se trata de una fuerza superior.

El temor a la pérdida de control se despliega, en muchos casos, con una segunda significación agregada: la incertidumbre. En el campo semántico de incertidumbre suele encontrarse la noción de desconocimiento o conocimiento insuficiente, que se hizo presente en los participantes.

No obstante, de forma tanto o más importante que la falta de conocimiento se constató, para este caso, una asociación entre incertidumbre e irreversibilidad: a diferencia de los peligros de otros materiales y fuentes de producción de energía, con los cuales es posible circunscribir los efectos, y volver a “lo normal”, un incidente con la energía nuclear “no tiene vuelta atrás” (Mujer, 36-45, ABC1).

En varios de los participantes las ideas de incertidumbre, pérdida de control e irreversibilidad no se limitaron a las instalaciones físicas para producción de energía nuclear (plantas), sino que alcanzaron al tratamiento de los residuos, que es un componente adicional (y no meramente sustitutivo) de riesgo: los residuos existen siempre, y permanecen por mucho tiempo, sea que se los entierre o se los encapsule en construcciones especiales. El potencial destructivo de estos residuos iría de la mano con la manera en que son manejados y controlados: la

generación de residuos crearía un riesgo que es percibido como inacabable, que existiría por siempre.

La problemática de los residuos se ligó a las nociones respecto a la radiación y sus efectos en las personas. La radiación, a juicio de los participantes, posee características particulares que la diferencian de otros tipos de contaminación.

Destacó sobre todo su invisibilidad, que da sustento a la idea de que su efecto podría no ser percibido: el efecto de la radiación es invisible, lo que hace crecer la sensación de desprotección. En seguida apareció con fuerza la noción de un efecto transgeneracional: mutaciones genéticas que sobrepasarían la vida del individuo contaminado y afectarían a sus descendientes. El impacto de la radiación no es sólo la muerte ni el efecto directo, sino también problemas que afligen en el tiempo a las siguientes generaciones.

Estos componentes –que describen, en particular a la contaminación de origen nuclear- dan un contenido específico a la idea de la energía nuclear como una fuerza virtualmente ingobernable, que una vez que escapa de control se infiltra invisiblemente por todas partes. En general, estas opiniones estuvieron acompañadas por la advertencia de que el uso de dicha energía requiere controles altísimos y un manejo técnico muy cuidadoso; pero quienes las formularon parecieron sugerir a priori que dichas condiciones nunca serían totalmente suficientes.

El temor a una fuerza incontrolable y desconocida se incrementó con otro rasgo: el hecho de que no sea “natural”. A diferencia de otras fuentes de producción de energía, se percibe a la energía nuclear como algo que “no está en la naturaleza” y que, por el contrario, es un producto de laboratorio creado por el hombre. En general, fue descrita como algo sintético, nacido de la manipulación del átomo, artificial, que es un producto de la intervención del hombre. La mayoría de las veces, la manipulación del átomo apareció como algo oculto y misterioso para los participantes. Por extensión, la energía nuclear es vista como fruto de una manipulación humana peligrosa sobre la naturaleza, que, en línea con el pensamiento mítico, en cualquier momento se vuelve puede volver contra el hombre para castigarlo con dureza.

La idea de manufactura dio también contenido a los sentimientos de imprevisibilidad e inseguridad: mientras que lo natural sigue leyes inmutables, lo no natural sería imperfecto y estaría expuesto a cambios violentos. Muchos de los participantes estimaron que otras fuentes de producción de energía, que sí consideraron “naturales”, tendrían esa ventaja inmanente sobre la nuclear: la ausencia de manipulación. Tal es el caso del agua, el viento y el sol. Aquí radica, por tanto, una de las razones más poderosas para preferir las energías renovables no convencionales (ERNC), e incluso muchas veces la hidráulica: se valorizó, incluso más allá de los costos ambientales o económicos, que sea energía obtenida de de procesos “naturales”, “puros” y, por extensión, más limpios.

3. De vuelta a lo básico

Las referencias simbólicas y discursivas en torno a la energía nuclear muestran que el macro-relato que orienta los discursos sobre la energía en general es el deseo de "volver a lo básico", alejarse de todo aquello que ha hecho que el hombre pierda el contacto con la naturaleza. Este *driver* se manifestó de diferentes formas.

Primero, las referencias a lo sintético y a la manipulación: la energía nuclear como algo que es creado ex novo y "jugando" con las leyes naturales. En el imaginario de los participantes –sobre todo del grupo D- la energía nuclear apareció instalada en el campo de significados donde también están la manipulación genética, los alimentos transgénicos, la contaminación e, incluso, las gripes aviar y porcina, el Sida y otras enfermedades, ejemplos todos de los esfuerzos del ser humano por intervenir la naturaleza y del elevado precio de las consecuencias.

De este modo, y en segundo lugar, la energía nuclear entró en el *framing* de la crítica a la modernidad: el progreso que se vuelve contra el hombre.

En este marco conceptual apareció, episódicamente, un cuestionamiento explícito a los estilos de vida "modernos", y ello condujo a algunos participantes a encuadrar la discusión sobre cualquier tipo de producción de energía en una pregunta mayor: "¿Hacia dónde vamos?", seguida de "¿Por qué?".

En tercer lugar, y como ya se dijo, se mostró especial aprecio hacia las ERNC precisamente por estar mejor sintonizadas con una escala humana y una forma de vida natural, sencilla y sensible con el medio ambiente. Así, la crítica a las energías "manufacturadas" (con especial centralidad de la energía nuclear) no se limitó al peligro potencial ni al impacto sobre el medio ambiente, sino que llegó, más profundamente, a un *estilo de vida* que, de acuerdo a esta visión, ha producido beneficios materiales, pero a muy altos costos culturales, sociales y medioambientales.

Estas visiones concluyeron en ocasiones en una polarización, en uno de cuyos extremos quedó situada la energía nuclear, representando lo "grande, potente y sintético", y en el otro las ERNC, como encarnación de "lo pequeño, limpio y natural":

ENERGÍA NUCLEAR	ENERGÍA RENOVABLES NO CONVENCIONALES (ERNC)
Lo grande *Está enfocada altamente a la industria y a los grandes centros urbanos, lo cual me da a pensar que no es para la persona común. (Hombre, 26-35, C2-C3).* *Lo veo como bien... como que no es vivible para mí, lo veo como algo súper lejano. (Mujer, 26-35, ABC1).*	**Lo pequeño** *Yo conozco a una persona que tiene una casa en el Valle del Elqui y tiene todo con energía solar, agua, viento… (Hombre, 46 o más, C2-C3).* *Pero yo encuentro que es tan fuerte el tema económico… cantidades y cantidades de gente destruyendo… las araucarias... Ya no pueden entrar 100 personas y entran 1.000. El lugar lo dejan todo sucio, se destruye… eso, por eso digo… es muy fuerte el tema económico…. (Mujer, 26-35, ABC1)*
Lo potente *Como que me imagino átomos golpeando algo, por cómo quedan los restos de la energía. Y esta como a la fuerza, a la cantidad de energía que se genera, como que es una energía poderosa (Hombre, 26-35, C2-C3).*	**Lo limpio** *[La energía solar] es como más limpia claro, como que tú no tienes que romper tantas cosas como para hacerla funcionar, lo mismo que la eólica. (Mujer, 36-45, C2-C3).* *MODERADOR:* *¿Y por qué te tinca más esa [eólica] que la otra [nuclear]?* *MUJER 13:* *Porque es más limpia, es de viento. O sea, no interviene tanto el hombre, es más natural. (Mujer, 46 o más, D).*
Lo sintético *La [energía] nuclear es algo como creado. (Mujer, 46 o más, C2-C3).* *Es sintética. Es que las energías naturales nunca van a ser tan potentes como lo que tú puedes generar con la energía nuclear… no es algo natural, es sintético. (Mujer, 18-25, C2-C3).* *Puse esto [imagen de la Tierra] porque no encontré ninguna [foto] de basura, entonces puse lo que quiero ver, un planeta limpio, entonces lo que me preocupa [con la energía nuclear] es la basura, lo contrario. (Mujer, 18-25, ABC1).*	**Lo natural** *[Prefiero la eólica] Porque como todos han dicho, es la más natural, que contamina menos. (Mujer, 25-46, D).* *[La elección de la energía] depende más que nada de las necesidades, porque por ejemplo tú a una ciudad entera, a todas las casitas, les pongai paneles solares arriba en el techo, no va a ser suficiente, no va a dar abasto. (Mujer, 18-25, C2-C3).*

Por último, la vuelta a lo básico también se tradujo frecuentemente en una noción más amplia de civilidad: vivir junto a otros, respetarse y respetar el entorno. El debate alrededor de la energía nuclear remitió, muy a menudo, al problema de cómo convivir con los demás.

La percepción de retraso de Chile respecto de estas materias en Chile fue sostenida y general: en el país no se recicla, no hay conciencia ambiental, no se

enseña, no hay hábitos. Y, lo que pareció peor, no sería visible el interés por abordar estos problemas, en una sociedad enfocada en el consumo y el crecimiento, que no querría detenerse a pensar en el largo plazo.

Estos cuatro elementos (manipulación de la naturaleza, crítica a la modernidad, lo inhumano y lo incivilizado), por separados y en conjunto, llevaron el debate sobre la energía nuclear al campo del medio ambiente, pero no en la forma limitada de la protección del paisaje, sino en la forma más amplia de un modo de vida más sustentable, cualitativo y armonioso con la naturaleza y el conjunto de los seres humanos.

4. La desconfianza oblicua

El marco de protección ambiental que organizó las discusiones sobre la energía nuclear empalmó frecuentemente con otro eje discursivo: la persistente falta de confianza en el "sistema" nacional. Usamos la palabra "sistema" porque se trató de una actitud no limitada a un actor o sector, sino a todos:: el Estado, el mercado y la cultura productiva chilena.

Es importante notar, primero, que los participantes declararon a menudo que sus aprensiones sobre la energía nuclear no existen *per se*, sino por su uso: no saber quién la usará, cómo y con qué fines. En otras palabras, el "factor humano".

Desde esta convicción –la importancia del "factor humano"- se desplegó la desconfianza hacia los distintos actores potencialmente involucrados en el desarrollo de energía nuclear. Primero que nada, fue manifiesta la desconfianza hacia el Estado. El ejemplo más usado fue el Transantiago, como paradigma de un proyecto a gran escala que fracasó debido a la injerencia de la política en temas técnicos de alta complejidad. Esta fuente de desconfianza se vio especialmente concentrada en los grupos de mayores ingresos.

La desconfianza ante los técnicos gubernamentales engarzó con una crítica hacia la cultura productiva chilena: no se tiene fe a lo que podría suceder si una planta nuclear de potencia fuese manejada por compatriotas.

Los extranjeros no fueron, sin embargo, un sustituto claro. Tampoco se mostró confianza hacia ellos. Algunos participantes opinaron que debería conformarse una comisión de "verdaderos" expertos internacionales, pero con la reserva de que la corrupción y la falta de profesionalismo pueden también afectar a los especialistas extranjeros.

Dado que la fuente de esa corrupción sería el lucro, la desconfianza se extendió rápidamente del Estado al sector privado, el que tampoco ofrecería garantías de seguridad y transparencia. Las imágenes de depredación de los recursos naturales bajo el imperio del lucro rápido se repitieron en distintos momentos de las conversaciones. Más aún, incluso fueron cuestionadas, genéricamente, las

ONG ambientalistas, sobre los cuales se expresó la sospecha de motivaciones lucrativas y de beneficio personal.

En suma, las discusiones dejaron ver una desconfianza generalizada en las instituciones públicas y privadas, que incluiría, con diversa intensidad, a todos los agentes relacionados con el problema energético.

5. Disposición al debate

Los participantes en los grupos focales mostraron, mayoritariamente, no sólo una buena disposición, sino un cierto deseo de conversar sobre la temática energética, junto con una explícita apertura a recibir más información. No se detectó ninguna forma relevante de "atrincheramiento", ni ideológico ni técnico, y las conversaciones sugirieron que, en cuanto a la matriz energética en general y a la energía nucleoeléctrica en particular, las opiniones estarían en formación y aceptarían altos grados de flexibilidad.

Por de pronto, los grupos de mayor nivel socioeconómico relevaron la necesidad de de contar con información transparente por parte del sector público y privado, reconociendo que en la *comunicación* estaría la clave para abrir un debate de mayor profundidad.

Estos grupos, además, reconocieron que la energía nuclear es un mundo del cual tienen poca información, y estimaron que esta sería una de las mayores diferencias con otras formas de producción de energía, especialmente con las ERNC.

De igual modo, convinieron en la necesidad de proveer educación acerca de la energía, sus variantes y sus usos. Sería la otra cara de la moneda de la desinformación: mientras se reconoció que la información sobre la energía nucleoeléctrica es deficitaria, se estableció la demanda por más educación sobre el tema. El foco apareció localizado, por lo tanto, en niños y jóvenes, segmentos en los cuales, según los participantes, deberían concentrarse los esfuerzos por crear mayor conciencia y conocimiento sobre la problemática energética y el marco que la rodea: el medio ambiente, la naturaleza, los recursos naturales y la estrategia de desarrollo.

Las conversaciones dejaron en claro que existiría un ambiente propicio para el debate. Los participantes reconocieron un grado importante de desinformación, a la vez que declararon su disposición a recibir y analizar más antecedentes.

6. ¿Una épica generacional?

En estrecha ligazón con lo anterior, fue posible identificar otro *driver* esencial para comprender los discursos sobre la energía nucleoeléctrica: la percepción extendida, sobre todo en los grupos socioeconómicos altos de que el problema del cuidado del medio ambiente está en una fase de cambio profundo, de la mano de una nueva generación que comanda la "vuelta a lo básico" y la revinculación con la naturaleza.

Por una parte, los individuos de mayor edad reconocieron que si bien su generación –equivalente y contemporánea a la de los *baby boomers* estadounidenses- puede haber crecido en un ambiente más proclive a la producción de prosperidad y progreso, las nuevas generaciones estarían transformando tales enfoques y modos de vida.

Por otra, ellos mismos advirtieron que podría tratarse de una situación que excedería lo meramente generacional y que podría tener con un nuevo estadio en el desarrollo del país. De acuerdo a esta versión, el progreso alcanzado por Chile podría significar que emergen preocupaciones de "segundo nivel" o, dicha de otra manera, propias de las naciones de desarrollo intermedio.

Entre los participantes jóvenes resultó notorio un sentimiento de protagonismo en un momento de quiebre, un punto de inflexión que los distinguiría de generaciones anteriores, más conservadoras y preocupadas por un desarrollo con daños colaterales, como los del medio ambiente.

7. "Bolsones" argumentativos

Cabe resaltar la existencia de "bolsones" discursivos altamente sofisticados. Si por una parte se reconoce la desinformación que marca al tema nuclear en Chile, también se movilizan argumentos que están lejos de la "irracionalidad" que podría esperarse en públicos desinformados. Estos "bolsones" discursivos se encontraron en todos los segmentos socioeconómicos, aunque con énfasis distintos.

a. Apelando a la diversificación

Los grupos socioeconómicos de mayores ingresos mostraron como instalada la noción de "diversificación" de la matriz energética. Entre los que expresaron su oposición a la energía nucleoeléctrica, su argumentación se incrustó dentro del tema mayor de la necesidad de pensar el futuro energético del país sin "poner todos los huevos en la misma canasta".

b. Trade-off

Otro "bolsón" de argumentación racional es la noción de que existirían potenciales negociaciones (*trade-off)* implícitas y explícitas en la opción por distintas energías. Existiría conciencia de que no hay alternativas perfectas y que, por lo tanto, todas

las opciones deben ser sopesadas con sus beneficios y sus costos. Fue mencionado el caso de la opción hidroeléctrica: pese a que se reconocerían sus calidades de limpia y renovable, también se habría instalado la idea de que las grandes represas son nocivas para los ecosistemas, a partir del debate por las instalaciones en la Patagonia.

De especial interés resultó constatar que este examen crítico se extendió también a las energías renovables no convencionales. Pese a su alta favorabilidad, emergió en las conversaciones el repertorio de limitantes y problemas –capacidad de producción, ocupación de espacios críticos, costos y otros- que es propio de los debates especializados. Estas observaciones pueden ser consideradas como un indicio de que existe más información en el público de lo que se suele creer.

En este contexto de negociación y balance, la energía nucleoeléctrica reemergió como una opción que podría ser tomada en cuenta.

8. Imaginarios mediados

Por último, los grupos focales revelaron la naturaleza mediada de gran parte de la información sobre la energía nucleoeléctrica que manejan los públicos. Las imágenes dominantes provinieron, especialmente en el grupo D, y de la televisión.

Dos líneas fueron nítidas en esto. La primera, “seria”, obtiene sus impresiones de la catástrofe de Chernobyl, que ha sido reconstituida y detallada en innumerables reportajes televisivos. La otra, “frívola”, proviene de la serie de dibujos animados “Los Simpsons”, cuyo protagonista, el incompetente Homero, trabaja en una planta nucleoeléctrica.

Estas imágenes se mostraron duras y consolidadas, aunque al mismo tiempo la mayoría de quienes las mencionaron admitieron que no constituirían una base suficiente para una opinión definitiva.

II. ENCUESTA CIUDADANA

1. METODOLOGÍA

Los objetivos de la Encuesta Nacional fueron los siguientes:

- Indagar en el conocimiento y valoración de los ciudadanos respecto a la energía nucleoeléctrica.

- Identificar las principales preocupaciones que despierta en la población la posibilidad de desarrollar infraestructura nucleoeléctrica en Chile, así como los factores que inciden en la formación de esta opinión.

La encuesta nacional fue aplicada vía telefónica mediante muestreo probabilístico a nivel de hogares y cumplimiento de cuotas a nivel de individuos. El tamaño de la muestra fue de 1.500 casos, proporcionalmente distribuidos, con un error máximo de ±2,5 puntos porcentuales para estimaciones del total de hogares con red telefónica fija, pertenecientes a las comunas seleccionadas, y con el 95% de confianza y varianza máxima. Los datos fueron ponderados según comuna, sexo y nivel socioeconómico, de acuerdo a los datos del Censo 2002.

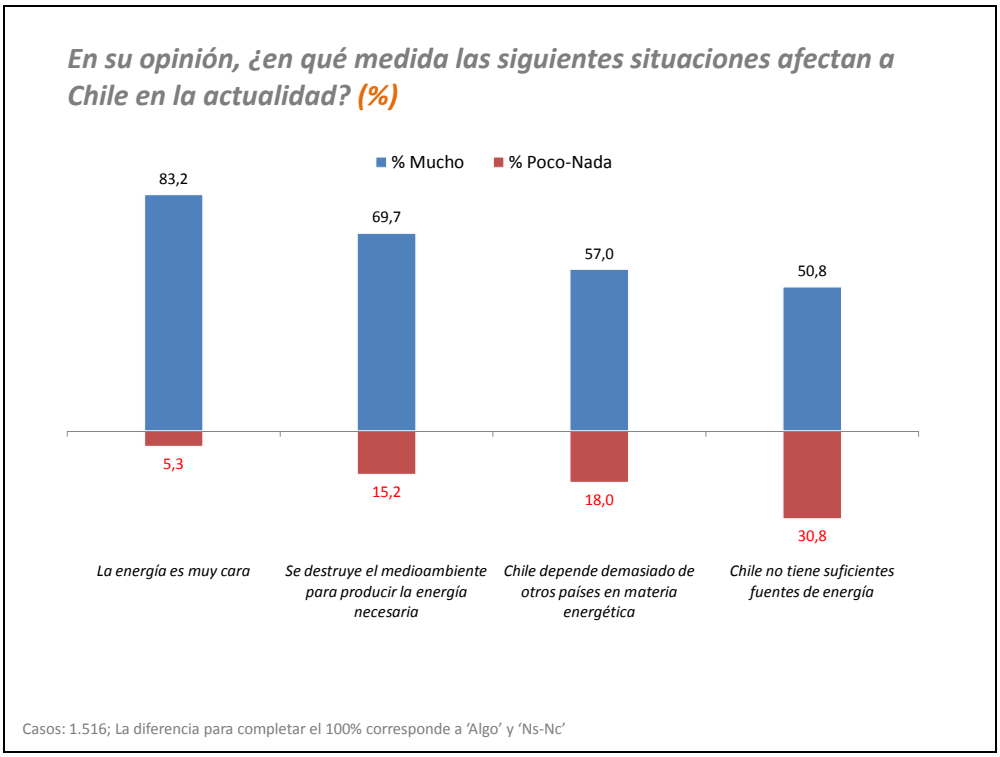
2. RESULTADOS

1. Percepciones sobre situación energética y fuentes de generación

1.1 Elementos de contexto

Para establecer un contexto de las percepciones, la encuesta empezó por indagar en las preocupaciones de la ciudadanía respecto a temas relacionados con la energía. Las respuestas indican que una clara mayoría considera que la energía es muy cara (83%) y en segundo lugar se destaca la preocupación por el daño al medio ambiente con la producción de la energía que requiere el país (69%). En menor medida, aunque con porcentajes sustantivos, se registra preocupación por la dependencia de otros países y la falta de fuentes de energía.

La preocupación por el precio de la energía se observa con mayor énfasis entre los grupos socioeconómicos medio-bajos y bajos (C3-D). La preocupación por el impacto sobre el medio ambiente es más marcada entre mujeres, y significativamente más importante entre jóvenes. Respecto a la preocupación por la dependencia de otros países, se observa que es ligeramente más importante en regiones que en Santiago; entre hombres (61%) que entre mujeres (53%) y más importante en los estratos altos (65%) que en los bajos (51%).



Casos: 1.516; La diferencia para completar el 100% corresponde a 'Algo' y 'Ns-Nc'

1.2 Atributos de las fuentes de producción de energía

Al evaluar los atributos asignados a las distintas fuentes de producción de energía, se observan claras preferencias a la hora de asignar los positivos. La energía solar y la eólica son consideradas las fuentes más limpias, así como las menos peligrosas. La solar es considerada incluso la más barata. La energía hidroeléctrica es percibida como la que mejor asegura el suministro, seguida por la solar y el gas natural. La energía nuclear es considerada la más potente de las fuentes de producción. En suma, la energía solar es la que concentra la mayor cantidad de atributos positivos, seguida por la eólica y la hidroeléctrica.

En cuanto a los atributos negativos, la energía nuclear destaca como la más peligrosa y una de las menos limpias, después del carbón. También es considerada una de las más caras, aunque menos que la hidroeléctrica. Desde la perspectiva de los ciudadanos, el carbón es la fuente de energía que concentra la mayor cantidad de atributos negativos, siendo la menos limpia, la que menos asegura el suministro y la menos potente.

De los siguientes tipos de energía, ¿cuál diría Ud. que es…? (%)

	Carbón	Gas Natural	Eólica	Hidroeléctrica	Nuclear	Solar
La más limpia	0,4	3,7	32,4	12,0	1,1	**48,3**
La menos limpia	**66,2**	3,3	1,2	4,1	22,1	1,2
La que mejor asegura el suministro	2,1	19,6	7,9	**37,4**	6,2	21,2
La que no asegura el suministro	**31,5**	21,9	8,3	8,9	9,7	11,4
La más peligrosa	17,8	14,3	,9	3,9	**59,0**	1,5
La menos peligrosa	4,3	8,0	29,0	13,7	1,7	**40,8**
La más cara	2,7	17,6	3,8	**34,7**	24,3	7,0
La más barata	29,3	6,7	13,3	8,4	2,1	**33,7**
La más potente	1,7	8,3	1,6	**31,1**	**36,9**	12,7
La menos potente	**44,6**	6,2	17,5	3,0	1,8	18,3

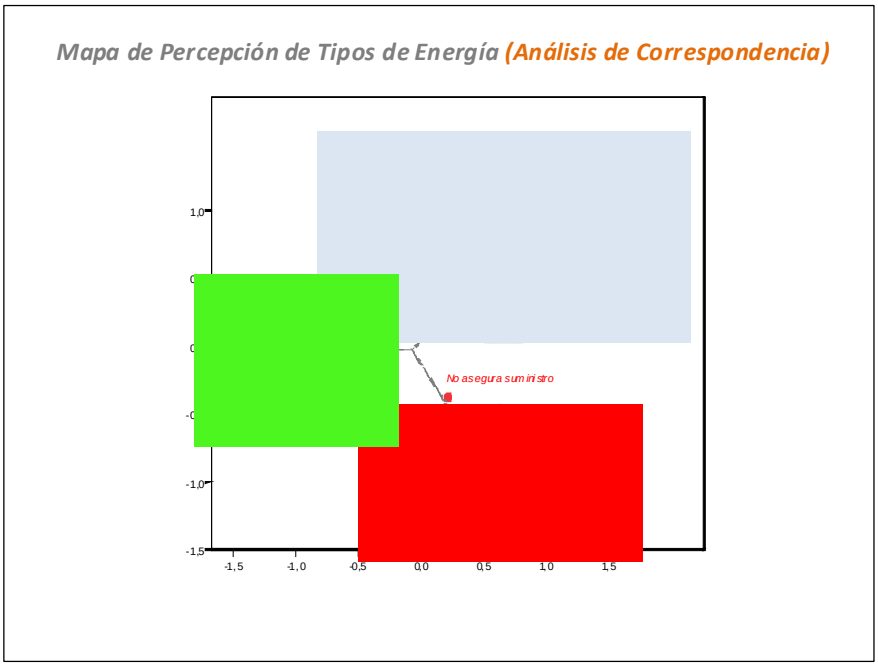
Casos: 1.516; La diferencia para completar el 100% corresponde a 'Otro' y 'Ns-Nc'

Al analizar la correspondencia entre atributos y fuentes de energía, se identifican tres grupos claramente diferenciados. En primer lugar se encuentran las energías

renovables no convencionales —solar y eólica—, asociadas a las fuentes de energía más limpias y baratas y menos peligrosas.

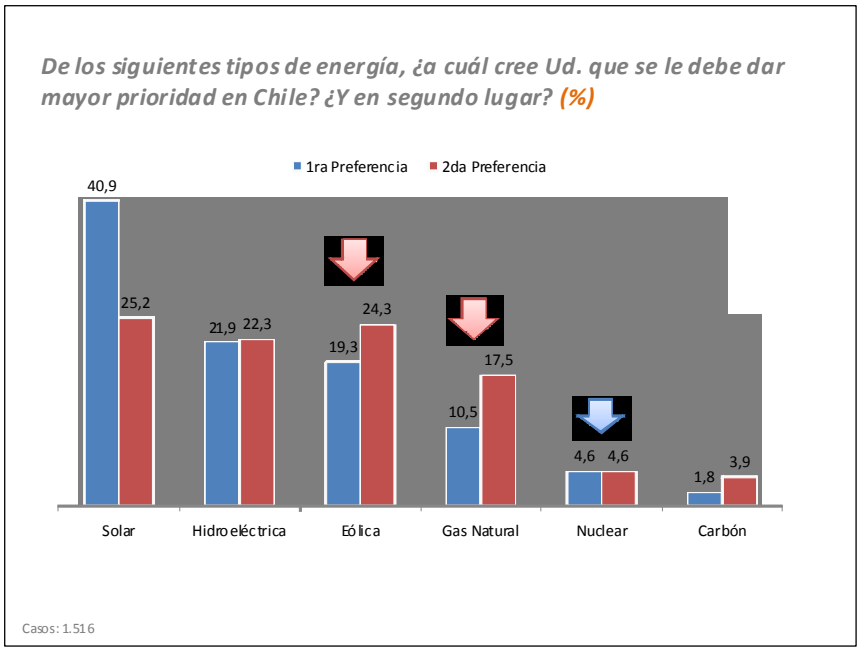
Un segundo grupo está conformado por la energía hidroeléctrica y el gas natural, que se encuentran posicionadas, por un lado, como las fuentes más caras, y por el otro, como las más potentes y de mayor aseguramiento del suministro. La energía nuclear está relacionada con este grupo, pero también se encuentra fuertemente asociada a las fuentes más peligrosas.

El tercer grupo está conformado por el petróleo y el carbón, identificados como las fuentes menos limpias y menos potentes.



1.3 Energías prioritarias para el país

Al consultar directamente por las fuentes de energía que deberían ser prioritarias para el país, las opiniones se distribuyen de manera consistente con las valoraciones respecto a los atributos de cada fuente de producción. Así, la energía solar es la que debería tener mayor prioridad, seguida, con porcentajes muy similares, por la eólica y la hidroeléctrica. El gas natural ocupa el cuarto lugar de las preferencias. La energía nuclear ocupa la penúltima posición, y al final se ubica el carbón.

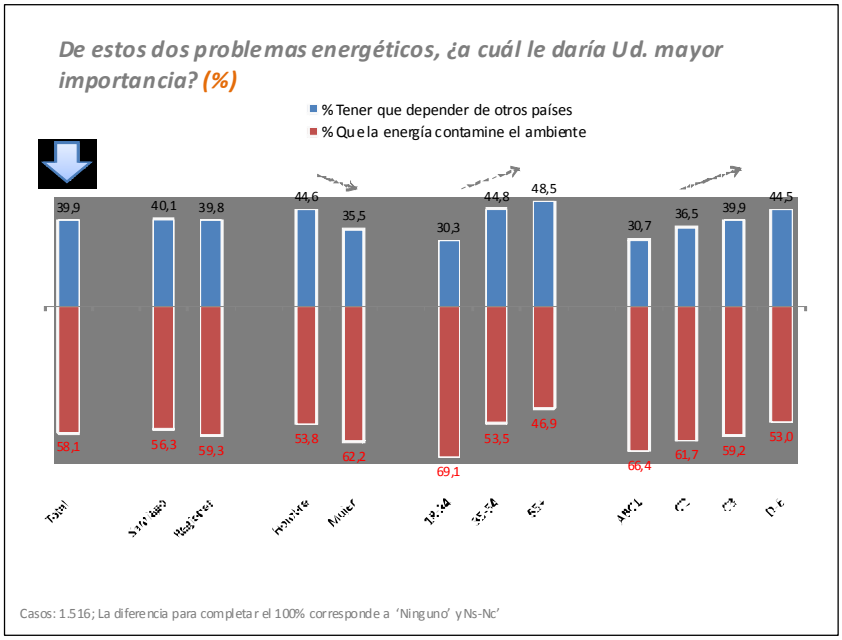


1.4 Dependencia energética versus contaminación

Con el objetivo de profundizar en las percepciones sobre la temática energética la encuesta planteó una pregunta en términos dicotómicos, enfrentando dos opciones que en principio son importantes para las personas. De este modo, se pidió elegir entre dos problemas energéticos: depender de energía provista desde otros países o producción de energía que contamine el medio ambiente.

La mayoría de los entrevistados asigna mayor importancia a que la energía contamine el medio ambiente (58%), por sobre la dependencia de otros países (40%). Al desagregar las respuestas se observan algunas tendencias importantes. En términos de género, por ejemplo, la importancia asignada a la contaminación aumenta significativamente entre las mujeres (62%) respecto a los hombres (53%). En términos de tramos etarios, se observa que los jóvenes (69%) son quienes asignan más importancia al problema de la contaminación respecto al de la dependencia. La misma tendencia se encuentra en los estratos socioeconómicos altos.

En tanto, los hombres, los adultos mayores y los estratos bajos otorgan una importancia relativamente equitativa al problema de la dependencia energética y la contaminación ambiental en los términos que establece la pregunta.

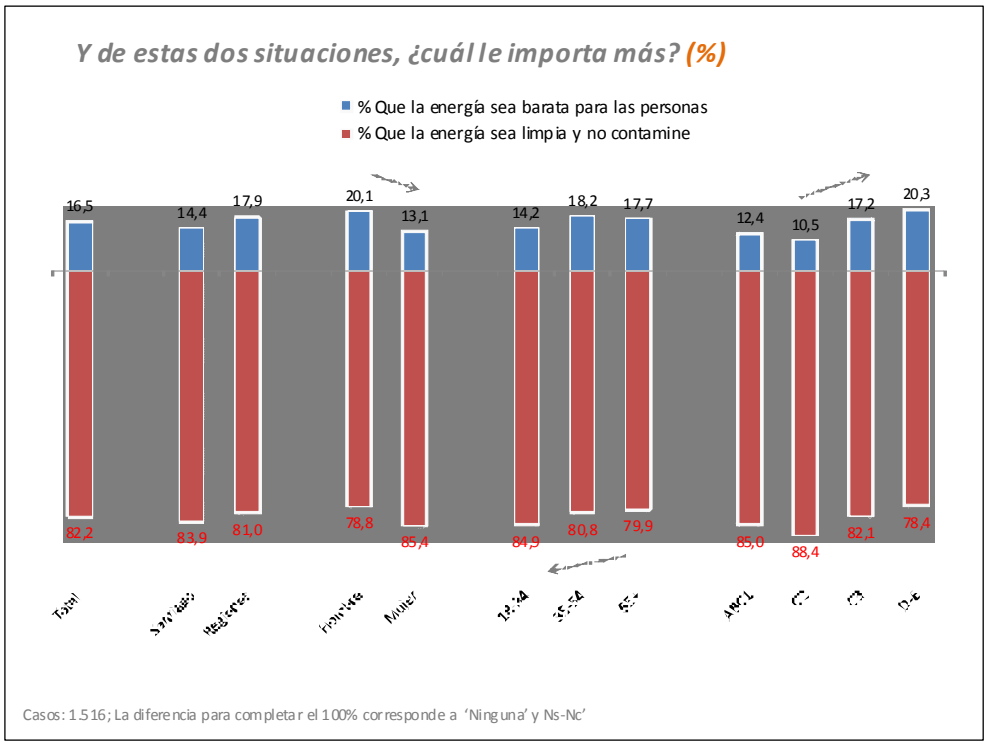


1. 5. Energía barata *versus* medio ambiente

El segundo ámbito donde se utilizó una pregunta dicotómica fue la elección entre el precio de la energía ("barata") y "que la energía sea limpia y no contamine".

En este caso la distribución de las respuestas fue categórica: una clara mayoría (82%) señaló asignar más importancia al factor medioambiental que al económico. Este resultado es más llamativo si se considera que un 83% de las personas encuestadas señaló antes (ver punto 1) que la energía es muy cara en Chile. Visto así, el factor medioambiental cobra aún mayor peso, por cuanto, al menos a nivel declarativo, las personas se muestran más sensibles al perjuicio ambiental que al costo personal.

A nivel desagregado, esta tendencia se observa con más fuerza entre mujeres (85%), jóvenes (85%) y los estratos socioeconómicos altos (85%). Quienes privilegian que la energía sea más barata son levemente más hombres (20%) que mujeres (13%), pertenecientes a estratos bajos (20%).



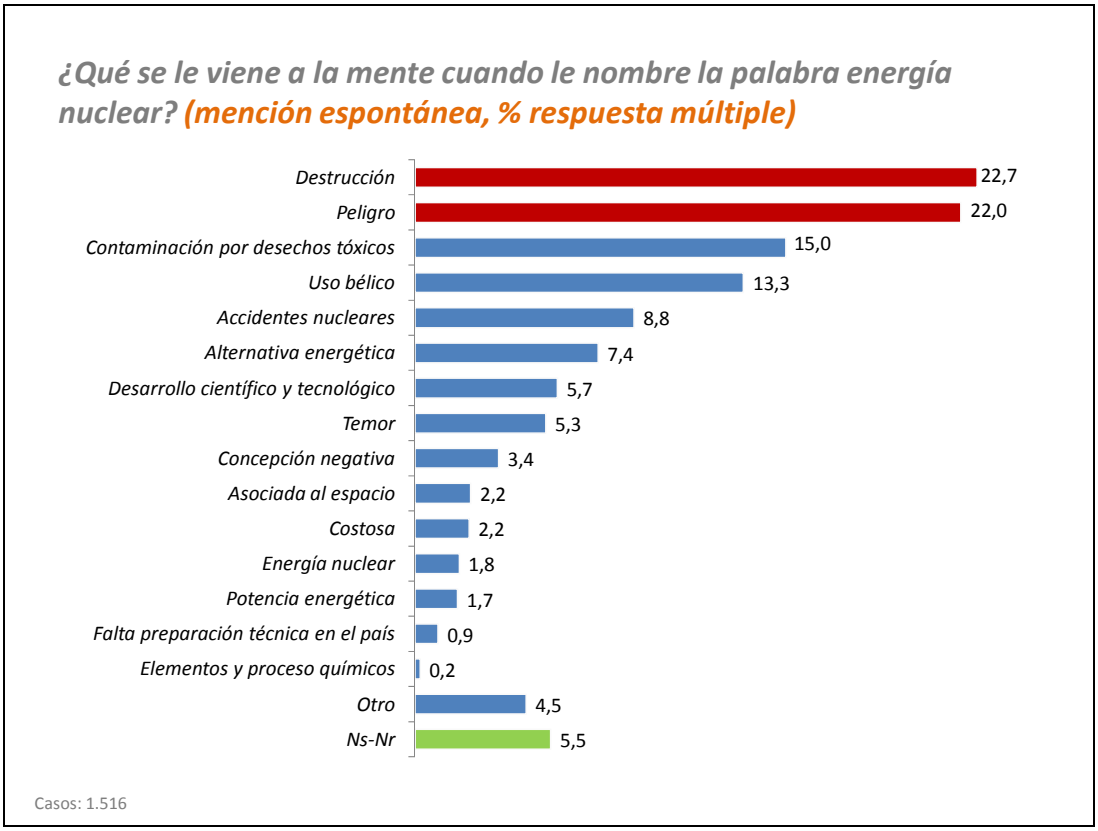
2. Percepciones sobre energía nuclear

2.1 Imagen espontánea

Una primera aproximación a las percepciones sobre la energía nuclear se basa en las imágenes espontáneas que ella genera. Al preguntar a las personas por lo primero que se les viene a la mente con las palabras “energía nuclear” las respuestas espontáneas son mayoritariamente negativas y con una fuerte carga simbólica.

Una mayoría relativa de los entrevistados (43%) asocia espontáneamente “energía nuclear” con ideas abstractas —que conllevan una fuerte carga emocional— tales como “destrucción” y “peligro”. Estas ideas van acompañadas por otras de la misma índole, pero relacionadas con situaciones más concretas, como la contaminación por desechos tóxicos, el uso bélico y los accidentes nucleares.

Un 13% de los encuestados asocia la energía nuclear con aspectos positivos, como ser una alternativa energética (7,4%) y estar asociada al desarrollo científico-tecnológico (5,7%).

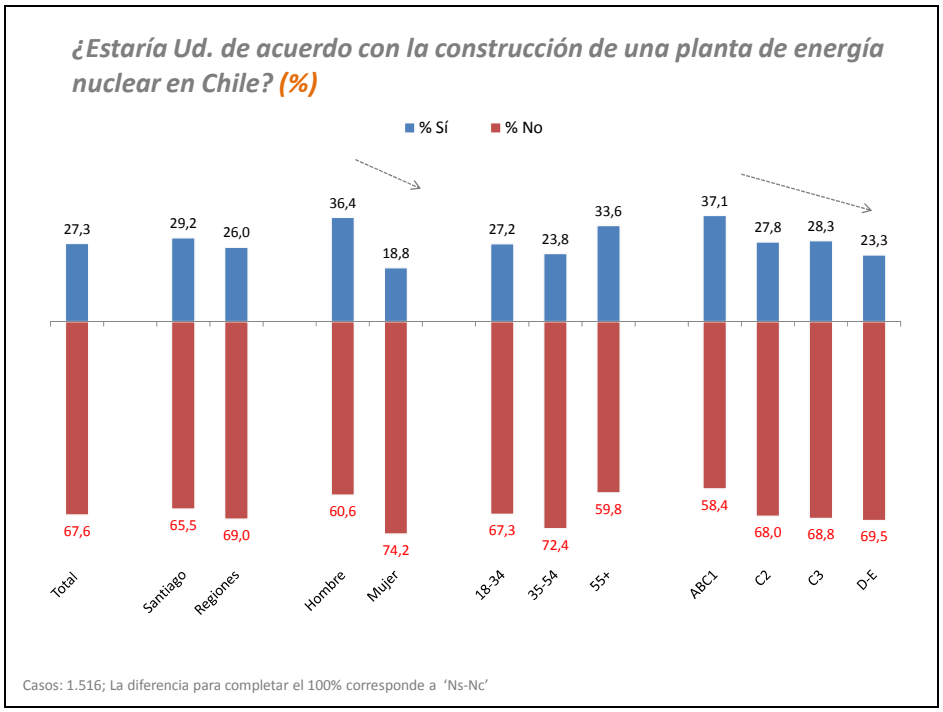


1.2 Actitud frente a la construcción de una planta de energía nuclear

Un elemento central para conocer las percepciones sobre la energía nuclear se encuentra en las opiniones –acuerdo y desacuerdo- respecto de la posibilidad de que se construya una planta nuclear en Chile.

La distribución de las respuestas indica que una mayoría (67%) de los entrevistados está en desacuerdo con que se construya una planta de energía nuclear en Chile. Esta tendencia es más acentuada entre las mujeres (74%) que en los hombres (60%); ligeramente más marcada entre los adultos entre 35 y 54 años respecto a los otros tramos de edad; y significativamente más fuerte entre las personas de estratos socioeconómicos medios y bajos (68%) respecto a los estratos altos (58%).

Quienes expresan acuerdo con la construcción de una planta de energía nuclear son preferentemente hombres, adultos mayores, de estrato socioeconómico alto.



1.3 Percepción acerca de las consecuencias de la construcción de una planta de energía nuclear

Otra aproximación se refiere a las percepciones acerca de las consecuencias que implicaría la construcción de una planta de energía nuclear en Chile. Las principales preocupaciones de los encuestados tienen que ver nuevamente con el factor medioambiental. Un 85% de los entrevistados opina que los desechos tóxicos de una central nuclear provocarían daños en el medio ambiente.

En segundo lugar están las preocupaciones por un eventual accidente radioactivo. Para el 76% de los entrevistados, las centrales nucleares son de “alto riesgo”, ya que podrían generar accidentes. En tercer lugar destaca la preocupación por los usos militares y bélicos de la energía nuclear.

En su opinión, ¿en qué medida ocurrirían las siguientes situaciones si se construye una planta de energía nuclear en Chile? (Porcentajes)

	Mucho	Algo	Poco	Nada	Ns-Nr
Se dañaría el medioambiente debido a los desechos y residuos	74,1	10,4	12,5	1,7	1,4
Existiría un alto riesgo de que ocurra un accidente radioactivo	59,8	16,5	17,8	4	1,9
Se podría usar la planta para fines militares o bélicos	49,2	14,7	16	17,1	2,9
Se evitaría que Chile dependiera de otros países en materia energética	49,1	17,2	19,5	11,9	2,4
Permitiría contar con la energía necesaria para llegar a ser un país desarrollado	46,6	19,2	19,8	11,3	3,2
Se le daría a Chile una imagen de país moderno y desarrollado	46,1	20,5	18,6	12,4	2,5
Se podría dejar de usar otros tipos de energía más contaminantes	45,1	20,0	20,8	11,6	2,4
El costo de la energía sería más bajo	31,3	19,4	29,9	11,3	8,1

Casos: 1.516

1.4 Razones que justificarían la construcción de una planta nuclear

Como se ha mencionado, el 67,6% de los encuestados expresa su desacuerdo con la construcción de una planta de energía nuclear (punto II.2). Sin embargo, el 74% de quienes rechazan la idea justificarían la construcción de una planta bajo ciertas condiciones. Las tres condiciones principales son: a) que la energía nuclear sea más limpia que otras energías; b) que la energía nuclear asegure el suministro; y c) que la energía nuclear evite el uso del carbón. Llama la atención la importancia que se asigna al hecho de que la mayoría de los chilenos esté de acuerdo con la construcción de una planta. Esto se puede interpretar como parte de un proceso en que las posiciones están en construcción y, por lo tanto, cobra importancia el consenso social que se pueda construir.

Es importante señalar que algunas situaciones hipotéticas no tuvieron mayor eco entre las personas consultadas. Este es el caso de la posibilidad de que Perú y Bolivia instalen centrales nucleares propias. Tampoco resulta muy relevante para los entrevistados que la construcción y el funcionamiento de la planta esté en manos de una comisión internacional.

En su opinión, ¿cuáles de las siguientes situaciones justificarían la construcción de una planta de energía nuclear? (% respuesta sí)

	Total	De acuerdo con planta	En desacuerdo con planta
Que la energía nuclear fuese más limpia que otros tipos de energía	65,9	92,1	53,9
Que la energía nuclear permitiera a Chile asegurar el suministro continuo de energía	59,0	94,3	43,4
Que la energía nuclear fuese mucho más barata y económica que otro tipo de energías	56,3	91,7	40,0
Que la energía nuclear evite el uso de carbón	55,0	84,5	42,2
Que la mayoría de los chilenos esté de acuerdo con la construcción de la planta	50,3	80,8	36,6
Que la energía nuclear evite el uso de los ríos de Chile	49,8	72,3	40,0
Que los riesgos de accidentes de la planta nuclear fuesen muy bajos	47,6	82,9	32,5
Que la construcción, el funcionamiento y control de la planta en Chile estuviese en manos de una comisión internacional	32,8	51,9	24,6
Que países como Perú o Bolivia instalaran plantas de energía nuclear	20,2	37,7	12,3

Casos: 1.516; * Análisis de componentes principales, un solo factor o dimensión

1.5 Fuentes de legitimidad en materia de energía nuclear

Las principales fuentes de legitimidad en materia de energía nuclear, en tanto portadores de las opiniones más respetadas en este campo, son los científicos e ingenieros, los ambientalistas y la sociedad en general.

Estas tres fuentes de legitimidad nos indican que existe una demanda por certificaciones de distinta índole ante un eventual proyecto de energía nuclear. En primer lugar, hay una demanda por una certificación técnico/racional, representada por las voces de científicos e ingenieros. En segundo lugar se ubica una certificación que se podría definir como normativo/valórica, representada por los ambientalistas. El tercer tipo de certificación es social, representada por la sociedad en general como voz legítima para decidir sobre la construcción de una planta de energía nuclear.

¿Cuánto le importaría a Ud. la opinión de los siguientes actores a la hora de decidir sobre la construcción de una planta de energía nuclear? (%)

	Mucho	Algo	Poco	Nada	Ns-Nr
Los científicos e ingenieros	74,8	9,6	8,6	6,1	0,9
Los ambientalistas	74,4	11,5	9,3	3,9	0,9
La ciudadanía en general	68,2	13,0	12,1	5,8	0,9
El Presidente de la República	48,0	18,1	17,4	14,9	1,6
La Comunidad Internacional	39,0	20,8	22,4	16,0	1,8
Las Fuerzas Armadas	25,1	16,0	31,4	26,3	1,2
Los parlamentarios	20,5	13,7	26,0	38,6	1,2

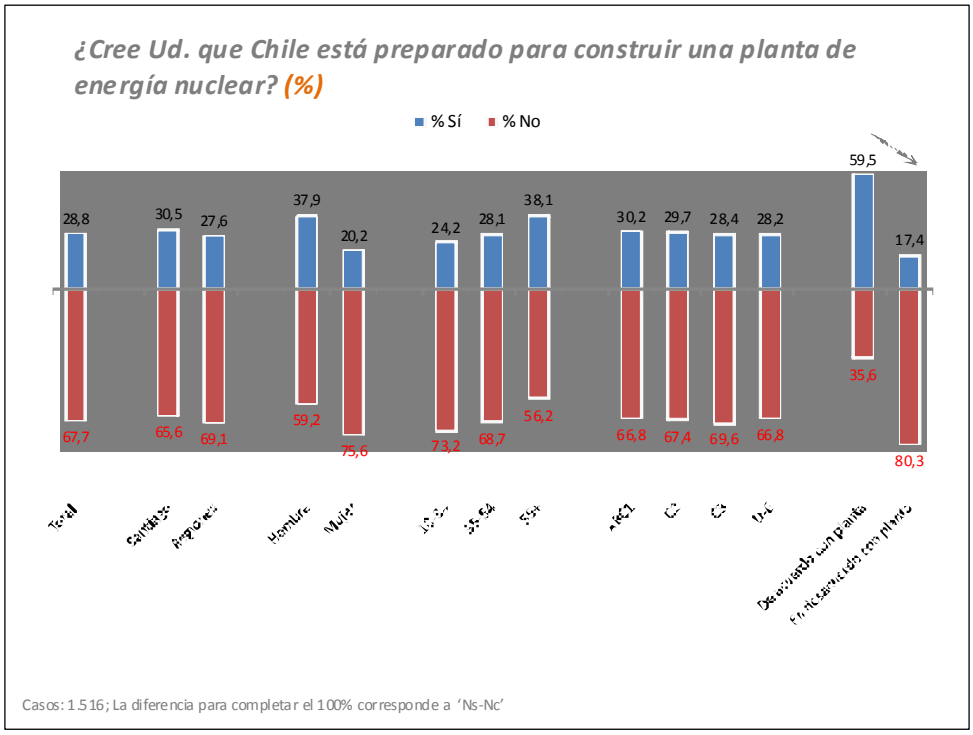
Casos: 1.516

1.6 ¿Está Chile preparado?

Para la mayoría de las personas encuestadas (68%), Chile no está preparado para desarrollar una planta de energía nuclear. Entre quienes están en contra de la construcción de una planta, este porcentaje se eleva hasta 80%. Entre quienes están a favor de una planta nuclear, un 60% considera que el país está preparado. Lo anterior se puede leer de dos maneras complementarias. Por un lado, hay una asociación estrecha entre estar de acuerdo con la construcción de una planta y la percepción de que el país está preparado. Por el otro, se presenta también una asociación entre quienes rechazan la construcción y al mismo tiempo estiman que el país no está preparado.

Son interesantes los cruces entre ambas posiciones. De entre quienes están en desacuerdo con la construcción de una planta, un 17% considera que el país si está preparado, lo que indica que el rechazo en este caso se debe a razones de principios y no técnicas o institucionales. A la inversa, un 35% de quienes están de acuerdo con la construcción de una planta, consideran al mismo tiempo que el país no está preparado para ello.

Los datos desagregados muestran además que la percepción de que el país no está preparado se presenta con mayor énfasis entre mujeres y jóvenes.



III. ESTUDIO DE LÍDERES DE OPINIÓN

1. METODOLOGÍA

1.1 Objetivo general

Conocer las percepciones de stakeholders relevantes respecto a temas energéticos, y en especial sobre la energía nuclear.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar un panel significativo de **formadores de opinión** e **informadores calificados** en el debate energético. Analizar los **temas críticos** que se refieren al desarrollo de la energía nucleoeléctrica.
- Establecer dimensiones **relevantes** relacionados con las percepciones de actores específicos.
- Identificar **criterios** para la generación de un debate abierto, informado y constructivo con los diferentes públicos.

1.3 Marco metodológico

Se siguió una metodología cualitativa, a través de entrevistas en profundidad semi-estructuradas (preguntas abiertas), que permitiera abordar el sentido y los fundamentos de las opiniones de los actores consultados.

- **Selección de entrevistados:** La selección de los entrevistados tuvo como objetivo captar las diferentes agendas, visiones, preocupaciones y dimensiones de la temática energética en general, y de la nucleoeléctrica en particular, desde una perspectiva racional e informada. Para conocer a fondo la opinión y evaluación de la energía nucleoeléctrica entre los líderes de opinión se partió del supuesto de que tales agendas, visiones e informaciones son heterogéneas, no sólo en sus contenidos, sino también en sus fundamentos. Entendiendo que los entrevistados tienen una baja relación directa y una experiencia mediatizada con la energía nucleoeléctrica, fue esperable que:
    - Convergieran distintos niveles lógicos en los fundamentos esgrimidos (políticos, sociales, económicos, medio ambientales, seguridad).
    - Existieran asimetrías de información relevantes.
- Por ello, la estrategia metodológica diferenció entre actores directamente involucrados en el sistema energético y nuclear (*stakeholders*), y

formadores de opinión que pueden no ser expertos o partes comprometidas, pero cuyos puntos de vistas son relevantes en el espacio público:

- **Actores directamente involucrados en el sistema energético y nuclear**, compuesto por el conglomerado amplio que tiene directa implicancia en la generación de políticas públicas. Dentro de este grupo se distinguió cinco subgrupos: Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Fuerzas Armadas, Empresas (mineras y energía) y líderes de opinión del sector ambientalista.

- **Formadores de opinión "generales"**: En el segundo grupo se incluyó a personas del mundo académico, *think tanks* y medios de comunicación, en tanto públicos informados y con una presencia relativamente influyente en la esfera pública.

A partir de estas categorías, en conjunto con la contraparte, se elaboró una base de nombres relevantes que fue identificada como universo referencial. Se realizaron 28 entrevistas de los sectores definidos.

3. RESULTADOS

4. Contexto: percepción actual y desafíos percibidos respecto a la política energética en Chile

5. La energía como asunto relevante

En esta primera dimensión se analizan las respuestas que los entrevistados entregan a la consulta de cuáles son, a su juicio, los principales desafíos de Chile en materia energética. Se pudo observar una preocupación alta y generalizada respecto de la seguridad del abastecimiento de energía de Chile en el futuro. Esta inquietud fue transversal, aún cuando algunos observaron que dicho problema se enmarca en una definición más amplia respecto del modelo de desarrollo.

Especialmente en los entrevistados relacionados con el abastecimiento de energía, la importancia asignada al problema se sustenta en la convicción de que el desarrollo de Chile pasa por tener un sistema energético capaz de acompañar su crecimiento, solventar la industria y el consumo doméstico y desarrollar nuevos proyectos que permitan mejorar la calidad de vida de la población. Fue común la referencia a que el país está aumentando rápidamente su demanda por energía, por lo que hallar fuentes de generación que aseguren el abastecimiento es algo apremiante.

Cuando esta percepción se torna firme convicción, los líderes de opinión consultados se muestran más dispuestos a discutir y evaluar nuevas formas de producción de energía.

En algunos casos, usualmente provenientes de los líderes de opinión “generales”, la percepción de la necesidad de seguridad en el abastecimiento aparece junto a la urgencia de discutir el modelo de desarrollo, la idea de crecimiento y aún la política energética vigente, por separado o en conjunto.

6. 2. La diversificación como un consenso

Junto con la relevancia asignada al tema, la mayoría de los entrevistados concordó en la necesidad de que Chile logre pronto un alto grado de **autonomía energética**. Esto, con el fin de dar seguridad y estabilidad al suministro y poner fin a los riesgos y amenazas que éste ha sufrido en años recientes. Para lograr esos objetivos hay consenso en que se debe propender a la **diversificación de la matriz energética**. La mayoría de los entrevistados señaló que el país debe considerar el desarrollo simultáneo de diversas modalidades y tecnologías de generación energética, distribuyendo los riesgos en varias opciones.

La diversificación de la matriz no aparece vinculada únicamente al abastecimiento y a la productividad, sino también a **la sustentabilidad**. Muchos entrevistados dijeron tener claro que todas las energías tienen sus límites y sus contraindicaciones en el plano ambiental, por lo que abrirse a métodos diversos significa también una forma de reducir su impacto relativo. Este es un razonamiento que no se circunscribe a los líderes ambientalistas, sino que aparece entre todos los entrevistados.

1.3 La necesidad del ahorro

Otro desafío descrito fue el del fomento de una **cultura del ahorro de energía**. Para muchos, el incremento en los métodos de generación y en los proyectos energéticos debe ir acompañado de un consumo responsable, lo que supone evitar el despilfarro y educar a la población en el impacto de sus gastos cotidianos de energía. Algunos van un poco más lejos y afirman, derechamente, que el uso eficiente de la energía es más necesario y beneficioso que el desarrollo de energías todavía no exploradas. Para ello se requiere generar una cultura estable y compartida.

1.4 La sustentabilidad como variable esencial

Los entrevistados hicieron especial hincapié en que, cualesquiera sean las tecnologías de generación que se utilice en una matriz diversificada, deben

cumplir con el requisito básico de ser **limpias y sustentables**. Éste es un *driver* transversal en todos los grupos o perfiles de entrevistados. La sensibilidad ante las emisiones de CO2 y su impacto en el cambio climático, la necesidad de resguardar la imagen de Chile como un país limpio y las garantías de uso sostenible en el tiempo están entre los argumentos más citados para preferir las energías renovables.

Una proporción relevante de los entrevistados situó dentro de esta categoría, con preeminencia, a las ERNC, principalmente **solar** y **eólica.**

Los matices se presentan cuando se intenta definir la posición de las ERNC dentro del abastecimiento energético del país. Aunque algunos entrevistados se inclinan por describirlas como "principales", otros subrayan que sólo podrían ser "complementarias", en función de sus costos y limitaciones para proveer toda la potencia que se necesita.

Quienes les asignan un carácter central admiten que ello sólo podría ocurrir con un proceso evolutivo prolongado, en el que se transitaría hacia un modelo de suministro de energía de carácter local y acotado, con un alto componente de micro y autogeneración. En este punto de vista convergen entrevistados del ambientalismo y algunos académicos.

Dentro del grupo que ve a las ERNC como complementarias, hay consenso en que, de cualquier modo, son relevantes y necesarias. Su bajo impacto hace indispensable que formen parte de un plan complementado con el desarrollo de otras energías renovables convencionales, como la hidroeléctrica.

Sin anular lo anterior, una mayoría de los entrevistados estima también que la **energía hidroeléctrica** es fundamental para el desarrollo energético y prioritaria para la matriz de generación chilena. Hay acuerdo en que el país tiene potencial significativo en este recurso, que a la vez es limpio y de gran capacidad. En el sector ambientalista se encuentra un rechazo mayor a los megaproyectos hidráulicos y la demanda de que su desarrollo se realice junto con una adecuada gestión del entorno social y natural, lo que en su opinión conduce a dar prioridad a las microcentrales y centrales de pasada.

La mayoría de los entrevistados estimó que el recurso de generación energética más sucio es el **carbón,** y se observa con preocupación el acelerado desarrollo de centrales termoeléctricas con este combustible, impulsado para responder a la urgencia del abastecimiento energético. Algunos apuntaron a que esta tendencia tendrá que ser revertida en la medida que Chile adquiera compromisos con la reducción de emisiones de C02, considerados inevitables.

En cuanto a la energía nucleoeléctrica, apareció mencionada entre las "limpias", aunque siempre después de las energías renovables no convencionales y convencionales y dentro del marco de una matriz diversificada.

La energía nucleoeléctrica sólo fue mencionada espontáneamente sobre las siguientes bases:

- La proyección de que en el largo plazo la energía hídrica no será suficiente.
- La convicción acerca de la conveniencia de la diversificación desde una perspectiva económica.
- La oposición a la generación con carbón, en función del cambio climático.
- La necesidad de autonomía (autoabastecimiento) y estabilidad energética (no dependiente de condiciones volubles, como el clima).
- La alta eficiencia en términos de capacidad de producción.

La mayoría sostiene, sin embargo, que se trata de una modalidad de generación que debe ser detenidamente estudiada antes de tomar una decisión sobre su implementación, que requiere planificación y que se necesita garantizar el control de riesgos.

7. En síntesis

La mayoría concuerda respecto de los pasos que debe seguir Chile en materia energética: la necesidad de desarrollar todas las formas de generación, y especialmente las renovables; dar prioridad al uso de los recursos naturales que el país tiene a la mano; y la conveniencia de incorporar la variable de las emisiones de gases de efecto invernadero en conjunto con la condición de sustentabilidad de la producción de energía.

Las apreciaciones tienden a separarse cuando se introduce la dimensión del largo plazo. En ese punto aparece la energía nucleoeléctrica entre algunos sectores de entrevistados, mientras que en otros se la sigue rechazando en función de la opción por la eficiencia energética y el cambio del modelo de desarrollo.

Aunque en la mayoría de los entrevistados se expresa abiertamente la opción (e incluso la necesidad) de debatir sobre la energía nucleoeléctrica, algunos entrevistados académicos y ambientalistas plantearon su rechazo taxativo.

2. Percepciones particulares sobre la energía nucleoeléctrica

8. Sobre la legitimidad de la energía nucleoeléctrica

El siguiente paso del estudio consistió en profundizar en la visión que los entrevistados tienen respecto de la energía nucleoeléctrica en particular. En esta dimensión se abordó tanto el problema potencial de su legitimidad como el de los criterios para adoptar una posición. También se incorporó el eventual debate sobre ventajas y riesgos, así como de las condiciones mínimas que supondría cualquier toma de decisión en esta materia.

9. Grupo de Entrevistados 1: Abiertos a debatir

Una parte importante consideró que la energía nucleoeléctrica es una alternativa que al menos se debería debatir, aunque al mismo tiempo mostró aprensiones respecto al proceso de su validación y de su desarrollo real en caso de generarse un consenso social.

Prácticamente todos los entrevistados coinciden en que **es muy pronto para pensar en la implementación de un programa nucleoeléctrico**, incluso en su etapa más básica. Un argumento reiterado es que el país todavía –y por un lapso prolongado- puede recurrir a otras fuentes de generación energética. Los entrevistados requieren, de parte de las autoridades, un grado importante de prudencia y, sobre todo, un proceso de información ciudadana y de validación social.

Las posiciones de mayor disposición a la información y el debate se hallan de preferencia entre la sociedad civil (no ambientalista), los medios de comunicación, las academias y las empresas. Esto no debe confundirse con favorabilidad: algunos de estos entrevistados parten de una posición de rechazo y sólo aceptan oír otras posiciones, sin que ello signifique que modificarán la suya. La mayoría comparte la impresión de que la discusión pública será difícil, y mucho más si no se crea primero la convicción de que Chile puede administrar con eficiencia la opción nucleoeléctrica, lo que significa la reducción de sus riesgos a cero.

10. Grupo de Entrevistados 2: Impulsores

Menos de un tercio de los entrevistados declara tener posiciones ya afianzadas, a favor o en contra de la energía nucleoeléctrica. Las opiniones favorables con mayor decisión se hallan principalmente en el mundo empresarial y entre los académicos especializados. El marco común de sus razonamientos son dos premisas: la necesidad de resolver los problemas de la demanda y la soberanía

energética; y la condición de energía “limpia”, alternativa a la que producen las emisiones de carbono.

En este grupo están también quienes dan por resueltas y superadas las dudas que expresan otros grupos y que son categóricos propiciadores de la energía nucleoeléctrica.

11. Grupo de Entrevistados 3: Detractores

El grupo que expresó su rechazo taxativo al desarrollo de la energía nucleoeléctrica en Chile concordó en argumentos cuyo centro son las condiciones del país para desarrollarla y administrarla con seguridad. Las principales objeciones:

- La incapacidad del país en términos de capital humano, gestión de procesos e institucionalidad para asumir un proyecto como éste.
- La sismografía chilena.
- El potencial no desarrollado de las ERNC y convencionales.
- La producción de desechos no eliminables y de larguísima duración.

12. Asociación espontánea: Chernobyl

Ante la pregunta: “¿Qué es lo primero que se le viene a la cabeza cuando hablamos de energía nuclear?”, los entrevistados expresaron las principales asociaciones y tensiones que rodean el desarrollo nucleoeléctrico en el caso de Chile.

La mayoría de los entrevistados aludió en forma espontánea e inmediata a los “desastres nucleares”, y en particular a Chernobyl.

13. En síntesis: Los criterios dominantes

Las entrevistas indican que en la actualidad prevalecen tres criterios en el análisis de las alternativas energéticas, y de la nucleoeléctrica en particular.

En primerísimo lugar se sitúa el de la **sustentabilidad**, entendida en el sentido de cuidado con el medio ambiente, utilización de recursos naturales y renovables y contribución a detener el cambio climático. Este criterio estuvo presente en todas las entrevistas, con independencia de los matices introducidos en cada caso.

El segundo criterio dominante fue la identificación de las necesidades (vistas como conexas) de **autonomía y seguridad** en el abastecimiento energético, lo que en

todos los casos conduce a la diversificación de la matriz, con independencia de que algunos entrevistados agregasen después sus propios límites a dicha diversificación.

El tercer criterio fue el **económico**: una mayoría expresó, de diversos modos, la preocupación de que la energía en Chile no sea más cara de lo que ya es y de que, con apego a los criterios anteriores, sea eficiente y suficiente.

Este orden estuvo presente en la gran mayoría de los entrevistados y marcó gran parte de sus razonamientos.

3. Conclusiones estudio Líderes de Opinión

3.1 Contradicciones y controversias

De los contenidos anteriores se puede decir que, para estos entrevistados, el grupo principal de temas en diálogo y/o en colisión en relación con la energía nucleoeléctrica fue el siguiente:

- **Modelo de desarrollo** y **seguridad de abastecimiento energético**. Los que pusieron más énfasis en el crecimiento del país fueron por lo general más proclives a examinar opciones como la nucleoeléctrica, con el fin de asegurar el respaldo de la energía. En cambio, un énfasis mayor en un desarrollo moderado condujo a otros entrevistados a sostener que el abastecimiento puede ser garantizado sin recurrir a la nucleoelectricidad, usando otras fuentes y creando una cultura de ahorro.
- **Megaproyectos** y **microgeneración**. Quienes estimaron que las necesidades futuras de Chile sobrepasarán las posibilidades de las ERNC, se mostraron por lo general más proclives a examinar proyectos de gran potencia e inversión (como serían los nucleoeléctricos). Otros, en cambio, sostuvieron que el aumento moderado del consumo, en conjunto con el ahorro, permitirían dirigirse hacia un modelo de proyectos de pequeña escala, regionales y locales.
- **Autonomía** y **dependencia**. Algunos entrevistados subrayaron que la energía nucleoeléctrica permitiría reducir la dependencia de insumos inestables, como el gas y el petróleo, aumentando la autonomía de su suministro. Pero otros recordaron que funciona con otro combustible que no existe en Chile, el uranio, y por tanto la autonomía sería relativa. Algunos agregaron que hay una gran distancia entre la autonomía que podría generar la energía nucleoeléctrica y la disponibilidad que tiene Chile de fuentes de energías renovables.
- **Eficiencia** y **costo**. El argumento –sostenido por varios entrevistados- de la gran capacidad de producción de la energía nucleoeléctrica fue confrontado por otros con el alto costo de la inversión inicial. Algunos anotaron que dicho costo, ya muy elevado en cualquier lugar del mundo, se vería incrementado en Chile con la necesidad de elevar los estándares de seguridad para enfrentar la sismicidad y manejar los residuos.

- **Emisiones** y **residuos**. Los entrevistados que pusieron más énfasis en la necesidad de combatir el cambio climático restringiendo las emisiones de gases de efecto invernadero se mostraron generalmente más disponibles para considerar la energía nucleoeléctrica como "limpia". Sin desconocer este atributo, otros plantearon dudas respecto de la producción y tratamiento de desechos tóxicos y los problemas de su almacenamiento.

3.2 Factibilidad de la energía nucleoeléctrica

Finalmente, el estudio buscó indicios acerca de lo que los entrevistados considerarían como condiciones esenciales para abordar un desarrollo de energía nucleoeléctrica en Chile.

Prácticamente la totalidad de los entrevistados –incluyendo al grupo de los impulsores- partió por establecer que sería preciso tomar determinados resguardos. Tres líneas pueden considerarse comunes en estos planteamientos:

- **Seguridad integral.** Esta es la primera condición que apareció, tanto en menciones espontáneas como ante preguntas específicas, y fue presentada siempre en condiciones multidimensionales: protección para la población y para el medio ambiente, y garantías de regulación, administración y accidentabilidad. La mayor desconfianza se planteó en el plano de las capacidades humanas, con la exigencia de que el personal que participe en estos procesos debería tener una calificación de excelencia a toda prueba.

- **Institucionalidad adecuada.** El segundo requisito de importancia es la creación de una estructura institucional que permitiese reforzar las garantías requeridas, ya no desde un punto de vista técnico o material, sino también de responsabilidades. Se subrayó la importancia que adquiriría una normativa legal estricta, un alto nivel regulatorio y una capacidad significativa de control por parte del Estado. Al margen de los más escépticos, casi la totalidad de los entrevistados concordó en que en la actualidad no existen ni la institucionalidad ni las competencias técnicas y profesionales para hacer frente a un proyecto nucleoeléctrico. Los impulsores sostuvieron que el país debería iniciar un proceso de preparación de dichas competencias.

- **Validación social.** La mayoría de entrevistados estimó que otra condición esencial para desarrollar un proyecto de energía nucleoeléctrica en Chile es una validación generada por un grado razonablemente alto de acuerdo social en tres tipos de validaciones: una de investigación, que analice las variables desde una perspectiva profesional y científica; otra de divulgación, que ponga los elementos de juicio al alcance de todos; y una tercera mucho menos definida, de debate entre la opinión pública. Sólo un mínimo consenso ciudadano haría viable, en estas opiniones, avanzar en un eventual proyecto de generación nucleoeléctrica. Algunos entrevistados estimaron que, si bien las

tareas asociadas a estas fases corresponden eminentemente al gobierno, las universidades deberían tener protagonismo en ellas.

De las entrevistas a líderes de opinión se puede entender que la viabilidad de un proyecto de desarrollo de energía nucleoeléctrica en Chile está sujeta a un debate social, a un conjunto de garantías y a un análisis ponderado de alternativas y posibilidades. Para concluir, cabe precisar que estas conclusiones resultan más complejas y matizadas que las que los investigadores suponían antes de iniciarse el estudio. Con todo, esta observación estaría incompleta si no se agregase que existen indicios suficientes de que este cuadro de opiniones no era igual hace unos meses y probablemente no lo será en un tiempo más. El significado final es que el cuadro de opiniones vigente es todavía líquido, inestable y cambiante.

IV. RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DEL DEBATE NUCLEAR[2]

1.METODOLOGÍA

El objetivo de este estudio es analizar cómo ha evolucionado la historia del debate energético en Chile. Se ha buscado identificar cómo han ido cambiando cuatro ejes centrales: voceros y actores; temas centrales; paradigmas técnicos predominantes; hitos y eventos (políticos, geográficos, culturales).

Para lograr identificar la evolución histórica de estos cuatro ejes, el estudio buscó poner en perspectiva global la historia particular de la energía nuclear en Chile, contrastándola con la historia más amplia de la energía en Chile y de los eventos mundiales que han marcado las políticas energéticas globales.

Así, este estudio incluyó la recolección y análisis de información proveniente de cuatro fuentes:

- **Documentos CCHEN**: Identificación de hitos relacionados con el desarrollo de la energía nuclear en Chile. Se revisaron todas las Memorias institucionales de la CCHEN.
- **Revisión prensa histórica (Biblioteca Nacional)**: Revisión de diarios desde 1945 hasta 1986, especialmente El Mercurio y La Nación. En total se revisó más de cien impresos.
- **Entrevistas**: Rosamel Muñoz (CCHEN); Jorge Zanelli (Consejo Consultivo Energía Nuclear, CNE); Julio Baeza (Ejército); Sebastián Bernstein (Ex director CNE); Rodrigo Iglesias (CNE)
- **Prensa nacional**: Notas de prensa y reportajes entre 1990 y 2009 en los principales diarios del país.
- **Blogs y otros portales de opinión ciudadana**.

[2] Referencias metodológicas: **Referencias bibliográficas capítulo:**

Bedsworth, L, Lowenthal, M. y Kastenberg, W. 2004. “Uncertainty and Regulation: The Rhetoric of Risk in the California Low-Level Radioactive Waste Debate”, *Science, Technology & Human Values*, 29, 406
Bickerstaffe, J. y Pearce, D. 1980. “Can There Be a Consensus on Nuclear Power?”, *Social Studies of Science*, 10, 3 .
Callon, M., Lascoumes, P. y Barthe, Y. 2009. *Acting in an Uncertain World: An Essay on Technical Democracy*, Cambridge MA: MIT Press.
Del Sesto, S. 1983. “Uses of Knowledge and Values in Technical Controversies: The Case of Nuclear Reactor Safety in the US”, *Social Studies of Science*, 13, 3.
Gusterson, H. 2000. “How Not to Construct a Radioactive Waste Incinerator”, *Science, Technology & Human Values 2000*, 25; 332.
Kasperson, R., Berk, G., Pijawka, D., Sharaf, A. y Wood, J. 1980. “Public Opposition to Nuclear Energy: Retrospect and Prospect”, *Science, Technology, & Human Values*, 5, 31.
Kopp, C. 1978. “The Origins of the American Scientific Debate over Fallout Hazards”, *Social Studies of Science*, 9, 4 .
MacFarlane, A. 2003. “Underlying Yucca Mountain: The Interplay of Geology and Policy in Nuclear Waste Disposal”, *Social Studies of Science*, 33; 783.
Mazur, A. y Conant, B. 1978. “Controversy over a Local Nuclear Waste Repository”, *Social Studies of Science*, 8, 2 .
Schmid, S. 2004. Transformation Discourse: Nuclear Risk as a Strategic Tool in Late Soviet Politics of Expertise, *Science, Technology & Human Values*, 29; 353.

14. RESULTADOS

Etapa 1: 1940-1968: Entre la tecnificación y el progreso

Foco central: *Entre 1940 y 1960 la discusión sobre energía nuclear presenta varios giros; desde un debate cerrado, que se lleva a cabo solo en universidades y entre catedráticos, a una fuerte presencia en la prensa como la mayor amenaza para la humanidad. Hiroshima y Nagasaki marcan por años la discusión. Después de que EEUU logra transmitir a Latinoamérica y otros países los beneficios de la investigación sobre energía nuclear, sucede una serie de accidentes en centrales que afectan nuevamente la imagen de este tipo de producción. La discusión vuelve a las aulas universitarias y a los círculos de científicos, quienes deben darse a la tarea de blanquear nuevamente los usos de la energía nuclear, esta vez mediante la firma de tratados y acuerdos.*

La década del 40 es decisiva para el desarrollo nuclear. Aunque en décadas anteriores el desarrollo de la investigación de los elementos radiactivos avanzó aceleradamente en distintos países, en los 40 es cuando estas investigaciones logran resultados importantes, capaces de cambiar la historia.

La investigación nuclear se aceleró con la II Guerra Mundial. Para entonces, EE.UU., Canadá e Inglaterra ya estudiaban la posibilidad de producir reacciones de gran magnitud con elementos como el uranio. Durante la guerra, EE.UU. formó un grupo con expertos de distintos países –algunos judíos y fugitivos del régimen nazi- para desarrollar el "Proyecto Manhattan", cuya finalidad era desarrollar la bomba atómica antes que Alemania.

En 1942 este proyecto consiguió la primera fisión nuclear en la Universidad de Chicago. Dos años más tarde, en agosto, EE.UU. puso fin a la guerra con Japón al detonar dos bombas de fisión sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki.

Esta situación provocó un amplio rechazo mundial contra el uso militar de la energía nuclear. Desde este momento, ella a cataclismo, muerte y destrucción. El miedo y la seguridad se expanden por el mundo, y continúan creciendo con el inicio de la Guerra Fría, a fines de los 40. Sólo un par de años después de Nagasaki, Alemania, la Unión Soviética, Francia y Canadá ya contaban con sus propias bombas atómicas.

La reacción en Chile ante estos eventos fue singular. Los diarios locales cubrieron débilmente los sucesos de Hiroshima y Nagasaki. En los ejemplares inmediatamente a las detonaciones no se hallan referencias a la potencia destructiva de la nueva arma, sino más bien, paradójicamente, a las posibilidades que ofrecía para los tiempos de paz. La preocupación por las víctimas aparece sólo marginal y tardíamente.

Esta conducta coincide con el esfuerzo de EE.UU. para evitar la demonización de la energía nuclear. Veinte años después, en los 60, se iniciaría en ese país el período de mayor crecimiento de la industria de la energía nuclear: pasó de una planta nuclear antes de 1961 a 14 centrales nucleares en funcionamiento para 1968, con otros 39 proyectos en espera. Tal desarrollo requirió un ambiente, si no favorable, al menos no reactivo a la energía nuclear.

En Chile, la opinión pública, expresada en los medios periodísticos, no manifestó una postura propia que pudiese evidenciarse a través de reportajes o columnas de opinión. Por el contrario, los medios se limitaron a transcribir informaciones provenientes de las agencias internacionales.

Así, en Chile uno de los eventos más dramáticos relativos al uso de la energía nuclear en el mundo –la bomba sobre Japón- no tuvo mayor repercusión. Es más, dada la asociación comunicativa que se dio a la energía nuclear, vinculándola al progreso y la paz, ella interesó sobremanera y tempranamente a la comunidad científica del país. El 13 de agosto de 1945 –tres días después de la bomba de Nagasaki-, se organizó en la Universidad de Chile la primera conferencia acerca de la desintegración de la materia. Pero aunque la intención era dedicar la conferencia a la comunidad científica, el auditorio se llenó, según los diarios de la época, mayormente por “damas”, las que a la fecha ni siquiera tenían pleno derecho a voto.

En esta época también empezaron a formarse los primeros sistemas de regulación para la energía nuclear en América Latina. En la década del 50 comenzó en la región la investigación orientada a la búsqueda de elementos radiactivos. Brasil y Argentina detectaron yacimientos de uranio en sus territorios. Brasil, Argentina y Chile crearon sus propias comisiones de Energía Nuclear. La USAEC (United States Atomic Energy Commission) y CORFO realizaron, entre los años 1950 y 1960, algunos itinerarios geológicos radiométricos en la zona norte, en busca de anomalías de uranio, la materia prima fundamental de la energía nuclear de fisión. Los argentinos, mientras tanto, comenzaron a explotar un yacimiento uranífero en 1952, tras descubrirlo en las cercanías de Mendoza. EE.UU. iniciaba ya la construcción de centrales de potencia para obtener energía nucleoeléctrica. Le siguieron Francia y Canadá, urgidos por la necesidad de reducir su dependencia del petróleo.

Esta década se caracteriza por la firma de tratados internacionales apuntados a restringir el enriquecimiento del uranio, frenar la incipiente proliferación de armas nucleares y fomentar la colaboración entre países con distintos niveles de desarrollo para ampliar la producción de energía nucleoeléctrica.

El 22 de octubre de 1962, el Presidente John F. Kennedy anunció el descubrimiento de la instalación de misiles atómicos soviéticos en Cuba, decretó una “cuarentena” naval en torno a la isla y exigió de la URSS el retiro inmediato del armamento. El 27 de octubre, el primer ministro soviético Nikita Kruschev aceptó el retiro de los misiles a cambio de la promesa de Washington de no invadir

Cuba. La crisis puso en tensión a todo el sistema interamericano. Varios países del Caribe y Centro y Sudamérica enviaron naves para integrar la flota que ejecutaría el bloque norteamericano. Sin embargo, la verdadera magnitud de la confrontación –la primera que estuvo a horas de desatar una guerra nuclear entre EE.UU. y la URSS- permaneció invisible para amplios sectores del público mundial y latinoamericano.

La década de los 60 concluyó con EE.UU. envuelto en la Guerra de Vietnam, un conflicto que, entre otras consecuencias, gatillará el surgimiento de movimientos juveniles y estudiantiles pacifistas, que después de la guerra volcarán su preocupación a los temas ambientales y se convertirán en potentes activistas antinucleares.

Así, la historia nuclear de Chile arranca de forma singular: en su origen está –al menos en términos sociológicos- el esfuerzo por posicionar a la energía nuclear como una herramienta para el desarrollo. Se puede decir, entonces, que se trató de una fase "tecnificada", en la cual el tema central fue explorar esta forma de producción energética única, futurista y llena de oportunidades, cuyos principales voceros –cuando los hubo- fueron los científicos.

Etapa 2: 1968-1982: Auge y caída del sistema nuclear nacional

Foco central: *En el mundo se imponen los movimientos pacifistas –luego ambientalistas-, Vietnam culmina con la derrota de EE.UU. y se precipita la crisis del petróleo. Latinoamérica, y Chile, avanzan en la investigación sobre la energía nuclear al margen del ruido mundial. Argentina y Brasil explotan sus yacimientos de uranio y Chile logra desarrollar un proyecto nucleoeléctrico, evaluando incluso la construcción de una planta.*

Desde mediados de los 40 hasta fines de los 60, la oposición a la energía nuclear fue más bien débil. El gobierno de EE.UU. logró redirigir la imagen de esta forma de producción energética hacia las ideas de paz y progreso, por lo que las primeras plantas fueron instaladas en un ambiente ciudadano neutral y a veces, dado el fervor nacionalista de la II Guerra Mundial, incluso de celebración. El caso paradigmático es el de Livermore, en California, sede del famoso Lawrence Livermore National Laboratory de armas nucleares, que fue construido en 1952, en la más absoluta tranquilidad y con el beneplácito de una comunidad más preocupada, en ese entonces, de la seguridad y el orgullo nacionales.

Hacia fines de los 60 esta situación de neutralidad ciudadana cambió dramáticamente. Por una parte, Vietnam generó un sentimiento crítico hacia el conjunto del sistema político y en particular hacia la carrera armamentista (y nuclear). Por la otra, el objeto de la controversia ya no son más las plantas nucleares para desplazarse al problema ambiental de los residuos. La primera crítica a la energía nuclear en EE.UU. estaba asociada a la *política*, por lo que su efecto más allá de los grupos progresistas de las costas fue débil. Ahora la crítica se desplazaba hacia los *riesgos*, lo que aumentó considerablemente su radio de impacto. Los eventos de Chalk River en Canadá (1952), Liverpool en Inglaterra (1957) y Love Canal (1953), Idaho (1961), Hanford (1962) y Wood River (1964) en EE.UU. detonaron una creciente preocupación entre la opinión pública por el tratamiento de los desechos nucleares, que se convertirá en el eje del movimiento ambientalista.

El escalamiento de la Guerra Fría significó el incremento exponencial de los arsenales nucleares entre los 60 y los 70. Como un intento de reducir la amenaza de la destrucción masiva, la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) impulso un Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares, cuyo primer objetivo fue frenar la construcción de poderío nuclear en los países que aún no lo tenían, y el siguiente, alentar el desarme progresivo en las potencias nucleares.

En Chile, la preocupación ambientalista era, en general, inexistente, y la energía nuclear no estaba, ni por lejos, en la agenda pública. Recién en los 70 comienza a hacerse presente, en un plano estrictamente técnico. Como será una constante, esta irrupción está mediada por las oscilaciones y transformaciones en el mercado

energético, más que por un proyecto estratégico de largo plazo y de valor en sí mismo.

Así, la "crisis del petróleo" iniciada en 1973 fue clave en el surgimiento de la energía nuclear como un proyecto energético para Chile. Ese año, la OPEP subió el precio del crudo de forma unilateral y artificial, desatando en todo el mundo la inquietud por liberarse, al menos parcialmente, de la dependencia de este recurso. En Chile, la crisis puso urgencia a la necesidad de generar cierta autonomía del petróleo, y de buscar formas alternativas que permitieran el abastecimiento energético del país. La misma inquietud movilizó a Argentina, que en 1974 puso en operación su primera central nuclear de potencia, Atucha I, y a Brasil, que el mismo año comenzó la construcción de su planta de Angra dos Reis.

Esta fue la "edad de oro" de la energía nuclear en Chile. En 1964 se había creado la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN, futura Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN). En 1967, durante el gobierno de Eduardo Frei Montalva, se aprobó un plan de acción, de autoría de la CCHEN, titulado Política Nuclear y Planes de Desarrollo, que representa la primera señal presidencial clara respecto al desarrollo de energía nuclear. Al año siguiente, las comunas de La Reina, Providencia y Las Condes donaron los terrenos para la construcción del primer reactor de investigación perteneciente a la CNEN. En 1974 este reactor alcanzó su primera criticidad. El centro inició su operación utilizando elementos combustibles tipo MTR de alto enriquecimiento (HEU, 80% en U-235), con uranio suministrado por Estados Unidos[3].

Este mismo año, la CCHEN y Endesa comenzaron a desarrollar el Plan de Energía Nucleoeléctrica, un estudio que se completó en septiembre de 1976, con la incorporación de Chilectra, estatizada desde 1970. Aquí apareció una figura central para el avance del proyecto: el coronel Marmaduque Abarzúa, director de ambas empresas y cabeza de la CCHEN.

En 1977 se incorporaron organismos internacionales en las disposiciones para el éxito del proyecto nucleoeléctrico: el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la OIEA asesoraron al país en la formación de recursos humanos para operarlo. Además, y gracias a los tratados internacionales suscritos por Chile acerca del uso pacífico de la energía nuclear, muchos profesionales viajaron a estudiar y perfeccionarse en el tema, especialmente a España, con quien se había firmado recientemente un tratado de cooperación. Se trató, por lo demás, de un período rico en tratados, convenciones, seminarios e intercambios de cooperación científica (ver línea de tiempo).

Chile y Argentina vivían bajo regímenes militares, justo en el momento en que un prolongado diferendo por la delimitación del canal Beagle amenazaba con lanzar a

[3] Los restantes 58 elementos necesarios para el proceso fueron fabricados por la UKAEA en Dounreay, Escocia.

ambos países a la guerra. Este contexto, más el hecho de que la CCHEN y sus instalaciones estuviesen bajo administración del Ejército, hizo que en diferentes círculos se sospechara que el desarrollo nucleoeléctrico podía tener alguna derivación militar.

Sin embargo, a mediados del mismo año el régimen militar creó la Comisión Nacional de Energía (CNE), una nueva institución encargada de estudiar y tomar las decisiones claves acerca del desarrollo energético. A la cabeza de la CNE asumió Bruno Phillipi, asesorado en materias nucleoeléctricas por Sebastián Bernstein.

La transformación de la política económica, desde un sistema regulado y centrado en Estado, a otro abierto y organizado en torno a las fuerzas del mercado, creó un nuevo marco para el desarrollo energético en general, y para el nucleoeléctrico en particular, dado que, por su complejidad y costos, ofrecía escasas eficiencias. La nucleoelectricidad se mostraba, por primera vez, como una energía altamente política.

En 1979, la CNE evaluó, siguiendo instrucciones de la Presidencia, el proyecto de una central nuclear de potencia bajo criterios estrictamente económicos. Después de copiosos estudios, llegó a la conclusión de que no era recomendable ni factible. El informe final, entregado al general Augusto Pinochet, se mantuvo en reserva, pero paralizó de hecho el proyecto desde la perspectiva del Estado.

Tal período coincidió con el accidente de la central Three Mile Island, en EE.UU., el 28 de marzo de 1979, un episodio que golpeó a la industria nuclear en todo el mundo, paralizando la construcción de nuevas centrales de potencia por casi tres años.

En paralelo con el estudio del proyecto nucleoeléctrico, en Lo Aguirre se inauguró un segundo reactor de investigación, en el que posteriormente se instalaría un laboratorio para investigar el ciclo del combustible, proceso relacionado directamente con el enriquecimiento de uranio. En el reactor de La Reina, la actividad se centró en la producción de radioisótopos para la medicina, la agricultura y la minería.

En síntesis, el período que va de 1968 a 1982 se puede caracterizar por tres rasgos en Chile. Primero, la estabilización de una institución de energía nuclear, fortalecida por el régimen militar. Segundo, la relativa impermeabilidad de la opinión pública chilena ante los eventos globales, prolongación de la existente desde los años 40. Tercero, la muerte súbita de un proyecto nucleoeléctrico, que se debe menos a consideraciones técnico-expertas que a la racionalidad económica de un mercado abierto. Este último es un hito clave para entender la situación actual de la energía nuclear –y de la matriz energética en general-, dado que inaugura la implantación de un nuevo marco: el del mercado.

Etapa 3: 1982-2004: El mercado se toma la energía

Foco central: *La creación de un mercado energético y la irrupción de empresas privadas en el suministro de energía eléctrica dan el tiro de gracia a un proyecto nuclear nacional en la década de los 80. La baja de los precios del petróleo y los accidentes nucleares en el mundo terminan de cancelar esta opción. No obstante, en la ola de las protestas mundiales contra las pruebas nucleares de Francia en Muroroa, la ciudadanía chilena se introduce, aunque de forma residual, en el debate nuclear.*

A comienzos de la década de los 80, junto con las reformas económicas y la crisis del crédito, se desarrolló en Chile una reforma pionera en el mundo: la creación de un "mercado de la energía" con el DLF 1 de 1982, que eliminó el monopolio estatal de producción y distribución de electricidad.

"Previo a la reforma que se hizo en Chile en 1982, considerada como la Regulación de Mercados de Primera Generación, la visión tradicional que se tenía del servicio eléctrico era la de un monopolio integrado cuya regulación no distinguía de tal caracterización procesos o servicios que no poseen economías de escala o bien que sus economías de ámbitos se pueden preservar aún después de una segmentación. En la década de los 80, dada la experiencia favorable lograda en procesos de descentralización e introducción de competencia en distintos países y en otros sectores de servicio público análogos, tales como transporte aéreo, vial, ferroviario y carga en general, además del desarrollo tecnológico en la producción de energía eléctrica, con la construcción de centrales generadoras más pequeñas con costos competitivos a las grandes centrales hidroeléctricas, la tendencia mundial se orientó a la reforma de la regulación del servicio eléctrico, en el sentido de separar los servicios en los cuales, con una regulación apropiada, se posibilitaría la competencia. La principal conclusión de esta segmentación es la potencialidad de lograr el establecimiento de un mercado competitivo a nivel de generación de electricidad".

La reforma consistió en desagregar las fases de producción, transmisión o transporte y distribución de la energía eléctrica, generando un mercado abierto a inversionistas privados. Se habilitaron concesiones para cada una de estas fases, y se regularon las tarifas. La estatal Endesa fue divida en 14 compañías: 6 de generación (incluyendo Endesa y Colbún), 6 de distribución y dos pequeñas de generación y distribución aisladas en el sur. Chilectra fue también dividida en tres compañías: una de generación y dos distribuidoras.

La creación de un mercado energético terminó de sepultar el proyecto nucleoeléctrico, que había permanecido vivo en la CCHEN.

Hasta ese momento, el eventual desarrollo de la energía se había entendido como un proyecto exclusivamente estatal, dado sus componentes estratégicos y de seguridad. Con la creación de un mercado de la energía, los bajos precios del

petróleo y el largo periodo de construcción de una central nuclear, el proyecto de la generación nucleoeléctrica no pareció atractivo para los privados.

Probablemente influyó también en ésta decisión el hecho de que la demanda interna por energía no justificaba aun, en términos de magnitud, el desarrollo de una central de potencia, dado que se podía suplir la demanda con la simple explotación regular de los recursos hidrológicos.

Este criterio se mantuvo durante toda la década de los 80: A pesar de que el "proyecto nucleoeléctrico" había sido recomendado para nueva evaluación en 1987, ella nunca se llevó a cabo. Para entonces había ocurrido recientemente (1986) el accidente de Chernobyl, en la URSS.

La catástrofe de Chernobyl, la más grave de la era nuclear, tuvo una repercusión relativamente baja en Chile. Contribuyó a ello la escasa y confusa información que entregó la URSS. La prensa chilena sólo registra algunas inquietudes por los efectos de una nube radiactiva que podría llegar al país. Sólo un reportaje aprovechó el evento para poner en perspectiva la política chilena de energía nuclear, comparando los riesgos del reactor de investigación en de Reina (curiosamente, no se menciona el de Lo Aguirre) con los de una central como la de Chernobyl.

Ya en los 90, y con la restauración de la democracia, la lógica del mercado de la energía se enfrentó a sus primeras pruebas, cuando los periódicos déficit de lluvias pusieron en peligro el abastecimiento eléctrico.

En 1992, Chile suscribió completamente el Tratado de No Proliferación, que dificulta el paso al dominio del ciclo del combustible. Con ello el país abandonó la idea de desarrollar el proceso de enriquecimiento del uranio y condicionó el eventual desarrollo de una central nuclear de potencia a la adquisición de uranio (u otros combustibles similares) procesado fuera del país.

Durante los 90 se establecieron también los acuerdos con Argentina para que este país proveyese de gas natural a Chile, con el fin de modernizar el abastecimiento residencial y apoyar el crecimiento industrial. La construcción de los gasoductos entre Chile y Argentina comenzó en 1995, amparado por un "Protocolo Energético" que aseguraba el abastecimiento continuo.

Mientras la red gasífera se desarrollaba, una severa sequía afectó al país en 1998 y obligó al gobierno (de Eduardo Frei Ruiz-Tagle) a dictar el decreto de racionamiento energético 287, que reguló los cortes en el suministro de energía eléctrica incluso residencial. El precio del petróleo estaba en uno de sus mínimos, desde antes de 1973.

Esta situación puso al problema energético en la primera línea de la prensa y la opinión pública. Sin embargo, la opción nuclear no apareció en el debate más que en sus dimensiones negativas. Las pruebas de armas nucleares realizadas por

Francia en el atolón de Muroroa entre 1995 y 1996 habían vuelto a convertir a la energía nuclear en un blanco de los movimientos pacifistas, ambientalistas y ciudadanos. Los ensayos de Muroroa fueron tan impopulares, que el gobierno chileno presentó protestas formales al de Francia, a pesar de que en opinión de la CCHEN no representaban peligro alguno para Chile.

Greenpeace, la ONG ambientalista surgida precisamente en oposición a las pruebas nucleares de EE.UU. en Alaska en 1971, que había llegado a Chile en 1993, se puso a la cabeza de las protestas de cara a los medios de comunicación.

En el mismo 1998 retomó protagonismo público otra de las dimensiones sombrías de la energía nuclear, cuando se denunció la posibilidad de que cargueros con desechos radiactivos atravesaran por el Estrecho de Magallanes, procedentes de Francia y en ruta a Japón. Nuevamente se desató una polémica pública acompañada de movilizaciones callejeras.

En resumen, en este período la energía nuclear pasó por dos procesos, aparentemente contradictorios. Primero, la opción nuclear desapareció de los planes técnicos por la fuerza de la nueva lógica de mercado; y luego, por primera vez los movimientos ciudadanos se mostraron como actores de relevancia.

Foco central: *La restricción, a veces en grado de suspensión, del suministro de gas desde Argentina, en la primera década del 2000, reaviva la necesidad de contar con autonomía energética, para asegurar el suministro eléctrico. El problema de la diversificación de la matriz de producción se vuelve prioritario. En ese marco amplio se replantea la idea de que la generación nucleoeléctrica pueda ser una opción eficiente y sustentable. Aunque el debate sigue tecnificado, ya se vislumbran señales del ingreso de actores cada vez más heterogéneos.*

El inicio del nuevo milenio trajo nuevas complicaciones al abastecimiento energético chileno. Hacia fines de marzo de 2004, Argentina, atravesando una compleja convergencia entre la falta de nuevas inversiones, el aumento de la demanda interna y el congelamiento de tarifas, decidió reducir –y ocasionalmente cancelar- los envíos de gas natural. La situación tomó por sorpresa al gobierno del Presidente Ricardo Lagos, que reaccionó acudiendo al petróleo –en un momento de altísimos precios internacionales- y ordenando el desarrollo de una planta de gas natural licuado para importar desde otros países.

Dado que la planta de GNL no estaría lista hasta el 2009 y los problemas de abastecimiento se prolongaron, hacia el 2007 algunos parlamentarios comenzaron a requerir al gobierno que estudiase todas las alternativas energéticas", incluyendo opciones como la nuclear.

Ante esta presión, durante la campaña presidencial del 2005 los grupos ambientalistas, encabezados por la ex candidata presidencial Sara Larraín, buscaron frenar de raíz el eventual desarrollo de la energía nucleoeléctrica mediante el numeral 7 del denominado "Acuerdo Chagual", que establece "no se impulsará el desarrollo nuclear en Chile". El Acuerdo fue suscrito por la entonces candidata Michelle Bachelet.

En el 2007, la Presidenta, de conformidad con los compromisos contraídos con el Congreso, ordenó la constitución de una Comisión Presidencial Sobre Nucleoelectricidad ("Comisión Zanelli"), encargada de realizar una primera evaluación acerca de un futuro desarrollo nuclear del país. Algunos sectores ambientalistas interpretaron este paso como una ruptura del "Acuerdo Chagual". No obstante, la Comisión Zanelli se limitó a recomendar la lista de estudios que serían prioritarios para avanzar en el análisis.

A lo largo de 2009, la CNE ha venido produciendo y haciendo públicos los estudios recomendados por la Comisión Zanelli –incluido éste-, lo que ha ido abriendo progresivamente el debate. La revisión de la prensa chilena de este año muestra un significativo número de editoriales y columnas de opinión con los puntos de vista de partidarios y detractores de la energía nucleoeléctrica.

SÍNTESIS

La reconstrucción histórica del debate sobre la energía nuclear en Chile revela algunas singularidades que complementan las de los estudios anteriores.

La primera de ellas es que se trata de una discusión en la que está ausente el objeto. En relación con Brasil, Argentina, EE.UU., Francia o Japón, la opción nucleoeléctrica entra en Chile con tardanza y con un mínimo horizonte de experiencia, limitado a las tareas de los reactores de La Reina y Lo Aguirre. En su mayor parte, constituye un debate virtual y mediado.

El análisis histórico muestra que la nucleoelectricidad ha estado presente como una latencia, con distintos grados de intensidad, pero más generalmente como una idea distante y muy futura. Sólo en los últimos dos años es posible afirmar que se ha venido instalando como una posibilidad, y en esa misma medida ha surgido una todavía débil corriente informativa, dentro de la cual han comenzado a expresarse quienes ya tienen una opinión formada: los "especialistas", sean adversarios o partidarios. Sólo en este campo se encuentran, por ahora, los argumentos racionales.

Esta emergencia ha puesto de nuevo en movimiento el debate nuclear, y los indicios acumulados sugieren que por esa misma razón se puede estar acercando a una fase más "ciudadana"**.** El movimiento anotado puede describirse según las siguientes fases:

Período	Tema central	Paradigma	Actor	Hito
1940-1968	Progreso	Positivista	Científicos	Hiroshima, Nagasaki, crisis de los misiles
1968-1982	Progreso	Positivista	Científicos y militares	Sistema nacional de energía nuclear
1982-2004	Mercado energético	Positivista y normativo	Científicos y ciudadanía	Chernobyl y Muroroa.
2004-2009	Seguridad de suministro	Positivista, normativo y estratégico	Científicos, políticos y ciudadanía	Crisis energética

Tabla 1. Construcción de la temática nuclear en Chile según período.

Como lo muestra la tabla, la temática de la energía nuclear ha sido liderada por distintos actores, que han movilizado distintos paradigmas. El científico ha sido el vocero central, y en el último tiempo se han ido sumando el político y el ciudadano. La discusión se ha ido moviendo desde una posición técnica, positiva y desarrollista, a otra más normativa, político-ciudadana y estratégica.

Este movimiento es aún tenue. Sin embargo, Callon et al (2009) han demostrado que la construcción de los actores/públicos en las controversias sociotécnicas tiene tres momentos. En el primero, la "opinión pública" no existe, la temática es exclusivamente técnica y predominan los juicios no informados, lo que Habermas denomina la "opinión no pública". En el segundo emerge una "sociedad organizada" (ONG, *think tanks,* académicos, organizaciones comunitarias), con una tendencia a incrementar los llamados "foros híbridos", presiones para abrir el debate a diversas perspectivas, intereses y disciplinas que dén cuenta de las complejidades de la controversia. En el tercero, la "sociedad organizada" se expande a la "ciudadanía", generando un debate ampliado, principalmente en los medios de comunicación, pero también en expresiones de movilización y debate público.

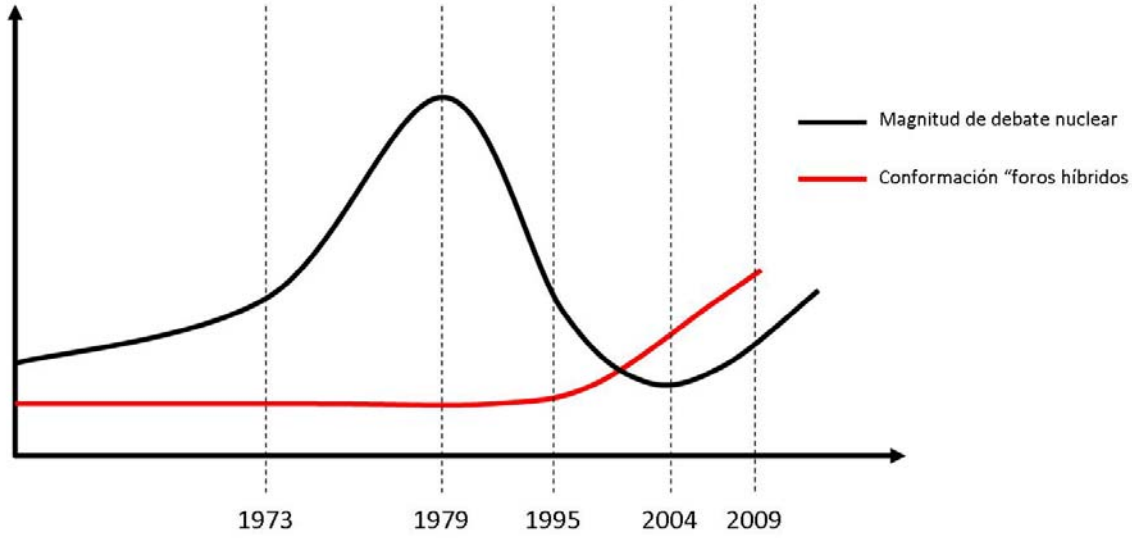


Gráfico 1. Evolución cualitativa de la opinión pública en torno a la energía nuclear en Chile.

Chile se encontraría, siguiendo el análisis histórico, en transición a la fase 2, con algunos elementos propios de la fase 3 (por ejemplo, el requerimiento explícito al gobierno para considerar la energía nuclear formulado por el presidente de la Confederación de la Producción y Comercio, Rafael Guilisasti).

La reconstrucción histórica muestra también que el uso eventual de la energía nuclear en Chile ha sido visto como una realidad múltiple: las decisiones, lineamientos, coyunturas e informaciones que han moldeado la discusión han provenido de diferentes ámbitos, no exclusivamente del ámbito sectorial-técnico.

V. CONCLUSIONES PRELIMINARES DIAGNOSTICO GENERAL

1. Marco

Los estudios muestran con nitidez que el *frame* actual del debate sobre la nucleoelectricidad es el del cuidado del medio ambiente, complementado con la sustentabilidad productiva. Este patrón se repite en los distintos grupos socioeconómicos, y es consistente entre jóvenes y adultos, así como entre ambientalistas y empresarios.

Este no es un marco que tenga raíces históricas, como se puede notar en el análisis histórico. Por el contrario, es reciente, actual y se inserta dentro de discusiones más amplias (aunque no orgánicas) acerca del modelo de desarrollo, donde la aspiración al crecimiento económico comienza a ser balanceada con el requisito de la sustentabilidad ambiental y social.

Una mayoría de los actores consultados estima que el suministro de energía y electricidad no se debe asegurar con medios de producción contaminantes; y muchos de ellos –más informados- introducen en la ecuación el problema de la producción de gases de efecto invernadero y la lucha contra el cambio climático.

Se trata, en consecuencia, de un debate con un marco inédito, posiblemente el primero de muchos otros que pondrán en movimiento las mismas variables.

2. Punto de partida

Las imágenes y opiniones sobre la energía nuclear proceden de percepciones muy diversas. Aunque los juicios mayoritarios son negativos y expresan una carga simbólica de riesgos inmensos, con frecuencia son contrastados con la apreciación de su potencia y de la ausencia de emisiones de carbono.

La experiencia de Chile con la energía nuclear es mínima y ha estado altamente tecnificada. Las personas identifican su propia falta de información y expresan su deseo de tener más. Contrario sensu, esto significa que las percepciones vigentes están construidas sobre imágenes mediatizadas, las que pueden ser más duras o más blandas.

3. Debate en construcción

Una tercera evidencia que emerge de los estudios es que las posiciones de los ciudadanos respecto a la energía nuclear están en construcción. Fuera de reconocer su carencia de información, una mayoría se declara abierta al debate. Contra lo que podría haberse esperado, no se percibe un “atrincheramiento”, ni valórico ni técnico: las posiciones aceptan altos grados de flexibilidad.

SEGUNDA PARTE
ESTRATEGIA DE COMUNICACIONES PARA UN DEBATE SOBRE NÚCLEOELECTRICIDAD

INTRODUCCIÓN

En concordancia con los requerimientos de la licitación pública a la que responde el presente informe, esta segunda parte describe los elementos principales de una estrategia de comunicación que alimente el debate público sobre la opción nucleoeléctrica, incluyendo una propuesta de diseño de estrategia ya acordada con la contraparte, planes de acción e hitos principales.

Como se desprenderá de su lectura, la estrategia ha sido diseñada en función de tres variables principales:

- Los resultados de los estudios de opinión en sus diversas dimensiones.
- La situación actual y real del debate público.
- Las obligaciones que se derivan de ambas cosas para el Estado en la perspectiva de la democracia.

El supuesto de que un tema de alta complejidad técnica suscita importantes brechas de información entre distintos segmentos del público fue plenamente confirmado por los estudios. La estrategia de comunicaciones parte de una interpretación, realizada con un esfuerzo de objetividad, acerca de la profundidad y de la extensión de esas brechas, así como de la posibilidad de reducirlas.

En este sentido, la estrategia se apega, hasta donde es posible, a las tareas e instrumentos propios de las comunicaciones. Sin embargo, es inevitable que en algunos aspectos deba ir un poco más lejos, casi siempre con el objetivo de generar la plataforma sobre la cual se pueda desarrollar el debate público. Es el caso de los aspectos institucionales, que suponen la convergencia de capacidades y voluntades políticas antes de que puedan actuar las comunicaciones.

Asimismo, la estrategia aquí descrita identifica grandes objetivos de comunicación que trascienden con mucho el período visualizado a partir de los estudios, y que trascienden incluso al actual gobierno. Inevitablemente, esto significa que sólo una parte reducida de sus acciones puede realizarse durante la actual administración, mientras que el resto tendrá que depender de las orientaciones del nuevo gobierno. Esta es una limitación muy importante para los efectos de medir la eficacia de una estrategia, e incluso plantea una seria dificultad en el evento de requerir correcciones o ajustes.

Hechas estas prevenciones, esta segunda parte propone, en primer lugar, un **MARCO CONCEPTUAL DE LAS COMUNICACIONES** (I) para situar el debate sobre núcleoelectricidad en el marco del desarrollo académico de la noción de “opinión pública” y, más especialmente, de la doctrina democrática.

Tal encuadramiento resulta esencial para identificar las obligaciones –no los deseos- que se imponen al Estado y al gobierno en presencia de temas que, como éste, involucran a todos los sectores de la ciudadanía, al desarrollo del país y a las generaciones futuras.

Dichas obligaciones, que podrían denominarse doctrinarias, son identificadas de manera más precisa por los estudios. De allí, justamente derivan los tres **EJES ESTRATÉGICOS DE COMUNICACIÓN** –que se presentan en el capítulo II de este apartado-. A partir de ellos, se ordena la estrategia de comunicaciones aquí propuesta, distinguiendo acciones coherentes tanto con la doctrina como con la probabilidad de obtener resultados exitosos.

En este sentido, la estrategia de comunicaciones ha sido pensada con un criterio de pragmatismo, buscando evitar tanto la grandilocuencia como el exceso de creatividad.

I. MARCO CONCEPTUAL DE COMUNICACIONES

1. BASES DE LA OPINION PÚBLICA

El Diccionario de la Real Academia Española define "opinión", en primera acepción, como el "dictamen o juicio que se forma sobre algo cuestionable" y, en segunda acepción, como la "fama o concepto en que se tiene a alguien o algo".

La primera acepción apunta esencialmente a un proceso racional, tanto en su dimensión de "juicio" ("estado de sana razón opuesto a la locura o delirio" como en la de lo "cuestionable" ("dudoso, problemático y que se puede disputar o controvertir"), que envuelve la capacidad de cuestionar y problematizar.

La segunda acepción, en cambio, acepta que la opinión puede formarse a partir de ideas generales, no necesariamente racionales, puesto que la "fama" es "la noticia o voz común de algo" (primera acepción) o la "opinión que las gentes tienen de algo" (segunda acepción).

La misma RAE adelanta una definición de "opinión pública", con un carácter generalista e inespecífico: "Sentir o estimación en que coincide la generalidad de las personas acerca de asuntos determinados". Esta descripción incluye un componente más emocional ("sentir") y uno más racional ("estimación"), con lo cual establece una integración entre esas dos dimensiones, que, aun siendo laxa, tiene importancia para la discusión que han sostenido en el último siglo diversas disciplinas de las ciencias sociales acerca de la idea de opinión pública.

La sociología ha definido una "opinión", de manera algo más precisa que la RAE, como una combinación de información –la que sirve para formarse un cuadro mental de un hecho- y de predisposiciones, las que contribuyen a adoptar una posición (Zaller, 1992[1]). La misma disciplina ha llegado a aceptar como definición operativa de "opinión pública" la siguiente: *Actitudes, perspectivas y preferencias de la población en torno a eventos, circunstancias y asuntos de interés mutuo.*

Ya a partir de los años 20, estudiosos como Walter Lippman notaron la dificultad de requerir un nivel de información experiencial para validar las opiniones, pues nuestras opiniones cubren un espacio superior de cosas, alcanzan más tiempo y mayor número de cosas de las que directamente podemos observar (en Zaller, 1992).

El problema de la información, sin embargo, va mucho más allá del requisito experiencial. La propia definición usual de la sociología citada más arriba ha sido

[1] Zaller, John (1992) ***The Nature and Origin of Mass Opinion***. Cambridge University Press, UK.

ampliamente debatida por los dos principales supuestos que envuelve: 1) la idea de que las personas enfrentan un hecho con estados cognitivo-emocionales predefinidos y nítidos, siendo que ambos rasgos cambian cualitativamente según el nivel de conocimiento e información; y 2) la idea de que las "actitudes, perspectivas y preferencias" pueden ser medidas en forma positiva, lo que otorga a las encuestas –especialmente, las masivas- un estatuto tal que las eleva a la condición de instrumento preciso. Tanto la sociología como la teoría democrática modernas advierten que las encuestas sólo pueden medir una actitud (y no necesariamente su origen) y que dicha actitud no siempre es reflexiva, esto es, no siempre está dotada de información y calificación cognoscitiva.

La limitación de las encuestas exige, hasta hoy, a quien investiga la calidad de la "opinión pública" sobre un tema no sólo a incorporar preguntas de contexto, control y contraste, sino también a utilizar otros instrumentos, que pueden tener también sus propios defectos: por ejemplo, los grupos focales, que mejoran la información cualitativa pero están más expuestos a sesgos derivados de su alcance inevitablemente menor.

Las dificultades conceptuales suscitadas por la manera de entender a la opinión pública y el modo de medirla llevaron a diversos intelectuales a redefinir la red conceptual a partir de la observación positiva y de la necesidad de crear nuevas categorías adecuadas a las nuevas realidades. En particular, pareció necesario revisar las definiciones bajo la luz histórica –notoria en la temprana Europa moderna- de los nuevos grupos ilustrados de poder que aspiraban y ejecutaban una función de escrutinio sobre los asuntos del Estado y el gobierno.

Líder en esta revisión fue el filósofo alemán Jürgen Habermas[2], el primero en introducir el concepto de "esfera pública", entendido como un ámbito de mediación y roce entre el Estado y la sociedad, en el que germinan las opiniones de los individuos, sobre asuntos de interés general, con bases racionales y razonadas, facilitado y amplificado por los medios de comunicación social.

Estas condiciones contienen, sin duda, una importante carga normativa, puesto que establecen, no ya el *ser* actual de la opinión pública, sino especialmente su *deber ser*. Admitidas que son estas implicancias normativas, la elaboración de Habermas nos deriva también al siguiente enunciado, que es otro de sus más importantes aportes a la discusión moderna: la opinión basada en ausencia de información y debate, por masiva que parezca, no puede ser considerada estrictamente como "opinión pública", sino más bien como "*non-public opinion*", que literalmente puede traducirse como "no-opinión pública".

[2] Si bien sus primeros escritos datan de la década de los '60 (Habermas, Jürgen (1981) [1962] ***"Historia y Crítica de la Opinión Pública"***), recién a partir de fines de los 80 sus planteamientos fueron foco y motor del debate académico en torno a medios y democracia, especialmente en Inglaterra. Para mayores referencias de dicho debate ver, entre otros autores: Dahlgren, Peter (2001b) ***The Transformation of Democracy*** in Axford, Barrie and R.Huggins (eds.) New Media and Politics Sage; Calhoun, Craig (1992) ***Habermas and the Public Sphere Cambridge***, MIT Press; y Scammell, M. and H. Semetko (2000) ***Media, Journalism and Democracy: A Reader*** **Aldershot**: Dartmouth (Ashgate).

La “*non-public opinion*” representa el predominio de las preconcepciones por sobre los juicios razonados que son deseables para el “espacio público” como tipo ideal. Al revés, la “opinión pública” presidida por la racionalidad -ligada intrínsecamente al debate- es pieza fundacional del Estado democrático ideal.

La “no-opinión pública” se contrapone, en esta visión, con la “opinión pública” en la misma medida en que los juicios constituidos en la primera carecen de información y debate, mientras que los juicios de la “opinión pública” sí disponen de ambas cosas. Aunque resulta extremadamente difícil determinar cuál es la cantidad y calidad de la información para transitar entre uno y otro estadio, sí es posible decir que en los extremos de información –la ausencia total o la abundancia total- se produce una diferencia real y verificable entre los dos tipos de opinión.

En estos extremos, la “no-opinión pública” tendrá, por definición, un carácter primordialmente dominado por preconcepciones y dependerá en un grado excesivo de las voces dominantes en la esfera pública (medios de comunicación). Por el contrario, una “opinión pública” será sustancialmente “racional”, en el sentido de que pondrá en movimiento la competencia de hechos, verificaciones, debate y ponderará el valor de las voces contradictorias en la esfera pública ya descrita.

2. DEMOCRACIA Y COMUNICACIÓN

Los resultados de los estudios de opinión acerca de la energía nuclear en Chile adquieren nuevas significaciones a la luz del debate conceptual plateado en el apartado anterior. Tanto desde las ideas introducidas por Habermas como, más en general, de la teoría democrática, se puede decir que, en su proporción mayoritaria, los estudios reflejan la existencia de una "no-opinión pública", es decir, una opinión basada en la carencia de información y debate.

Esta conclusión es válida, en la forma relativa que le es inherente, tanto para las opiniones favorables al desarrollo de la energía nuclear en Chile, como para aquellas opiniones que son desfavorables, al menos en la medida en que ellas reconocen 1) que carecen de información suficiente, y 2) que desean tener mayor información. Y es válida, también en forma mayoritaria, respecto de los atributos y características que se atribuye a la energía nuclear en general, y a la núcleoelectricidad en particular.

Tal panorama crea para el Estado una obligación principal e inmediata: proveer de información. Esto es así tanto desde la perspectiva de la teoría democrática –que aspira a una "opinión pública" activada por la información y el debate- como desde la propia razón principal por la cual la CNE ordenó la realización de estos estudios, que es conocer la complejidad y diversidad de las percepciones de los ciudadanos frente a la núcleoelectricidad.

Adicionalmente, este imperativo aumenta cuando se constata, en los mismos estudios, que una mayoría de las personas expresa claramente su deseo de disponer de más información y su apertura al debate acerca de los aspectos que se debe tener en cuenta para evaluar la opción nucleoeléctrica. Hay, en otras palabras, una demanda no publicitada, pero sí explícita, respecto de una materia que es reconocida como de interés público.

Esta demanda insatisfecha sería por sí misma una razón suficiente para que el Estado o sus instituciones se preocupasen de encararla. La desinformación en los asuntos de interés público es, por definición, contraria al interés del Estado democrático, como lo prueban las normas de derecho público y, en los últimos años, los principios y leyes de transparencia en la administración del Estado.

Pero, nuevamente, tal razón aumenta si por añadidura se aspira a que eventuales decisiones con impacto nacional y de largo plazo sean acompañadas por un debate que garantice su legitimidad. Un debate no informado es, evidentemente, una contradicción en los términos, aunque no es infrecuente que ese tipo de debates llegue a la esfera pública, introduciendo confusión y abriendo el espacio para el uso interesado y/o manipulatorio de argumentos en uno u otro sentido.

Este es, pues, el primer objetivo que se desprende de los estudios de opinión descritos en la primera parte de este informe: **llenar, hasta donde sea posible, los vacíos de información acerca de la opción nucleoeléctrica**. En muchos sentidos, esta es una tarea de largo plazo. Sin embargo, dichos instrumentos requieren tiempos de desarrollo considerablemente extensos, por lo cual, sin perjuicio de que también sean elaborados, resulta pertinente generar una estrategia de comunicaciones que cumpla las funciones iniciales y principales en el mejoramiento de la calidad de la información de que disponen los ciudadanos.

Sin embargo, llenar las brechas de información es aún una definición excesivamente generalista. Un análisis más detallado de los datos proporcionados por los estudios permitió identificar, en el marco de ese propósito amplio, tres objetivos que definen los ejes estratégicos que proponemos que ordene la estrategia de comunicaciones aquí propuesta:

EJE 1: Situar el debate en el **marco de la estrategia de abastecimiento energético del país**, como una manera adecuada de ponderar los costos y beneficios de las diversas fuentes de producción de energía.

EJE 2: Incorporar la **condición de sustentabilidad**, especialmente dentro de la lucha contra el cambio climático y la protección de los ecosistemas, en la doble dimensión global y local.

EJE 3: Despejar las **brechas de información** respecto de los atributos reales de la núcleoelectricidad y de las capacidades técnicas e institucionales necesarias para administrarla.

Sobre las características de estos ejes estratégicos, y las acciones requeridas para enfrentarlos, tratan los siguientes apartados.

II.EJES ESTRATÉGICOS PARA LA COMUNICACION

EJE 1: EL MARCO DE LA ENERGIA EN CHILE

1.1 El problema energético

Los estudios de opinión revelan que las personas perciben que hay dos maneras de discutir sobre los modos de producción de energía: considerándolos en sí mismos, con sus características, atributos y defectos; y considerándolos como parte de un sistema, donde esas mismas características se confrontan con las de otras fuentes. Esta última disposición analítica es particularmente visible en la disposición mayoritaria a escuchar un debate público y a cambiar de opinión si los argumentos son convincentes.

Asimismo, las personas con mayor grado de conocimiento y/o información[3] coinciden en que el marco conceptual para debatir en Chile acerca de las opciones energéticas está compuesto por a lo menos cinco premisas, validadas empíricamente, que pre-definen la conversación sobre energía. Ellas son:

- Todas las fuentes de producción de energía tienen fortalezas y debilidades. Todas presentan beneficios innegables, pero también costos mensurables. La producción de energía perfectamente inocua no existe.

- La única forma de asegurar el suministro de energía y alcanzar niveles básicos de seguridad e independencia energética es constituir una matriz de producción diversificada, que no dependa ni única ni excesivamente de una sola fuente, sino que integre a todas las que sea posible, previa consideración de sus impactos.

- Los costos de la energía son un factor relevante, no sólo al nivel del consumo personal, sino sobre todo al de la estrategia de desarrollo. Por su condición de economía pequeña y alejada de los grandes mercados, Chile requiere producir energía a costos competitivos para avanzar en su desarrollo.

- Dicho lo anterior, la sustentabilidad ambiental es otra condición esencial. Como un país integrado a la comunidad internacional y a la economía global, Chile no puede desentenderse de la responsabilidad que todos los estados tienen respecto de la producción de gases de efecto invernadero y su impacto sobre el cambio climático. Por eso, la matriz

[3] En referencia a resultados de estudios en líderes de opinión y encuesta (grupos de segmentos altos). Ver Parte I de este Informe.

energética debe incorporar energías con bajas emisiones y huellas de carbono.

- Dado que, en cualquier escenario, se entiende que la energía es un recurso escaso, la eficiencia energética debe ocupar un lugar como un imperativo económico y ambiental.

En virtud de estas premisas, resulta claro que todas las opciones de producción energética, incluida la nucleoeléctrica, deben ser discutidas en el contexto de las necesidades y desafíos que Chile enfrenta en este campo en los próximos 30 años. Esto supone evitar que los debates sobre cualquier opción sean definidos por el voluntarismo de quienes las promueven, o por la ansiedad de quienes las rechazan, defendidas o impugnadas únicamente por sus potencialidades y características propias.

El problema del contexto es, pues, esencial. Cualquier esfuerzo de comunicación en torno a las fuentes de producción energética debe hacerse cargo de que el marco general es la discusión acerca de una Estrategia Nacional de Energía de largo plazo.

No se trata de cualquier estrategia, sino de aquella que ha ido construyendo, validando y consensuando el país durante los últimos años, y cuya trascendencia cobró nitidez después de la crisis de abastecimiento de 2003-2007 provocada por los recortes de suministro de gas desde Argentina, un largo período de bajas precipitaciones y el *rally* alcista del petróleo.

Dicha estrategia, proponemos como hipótesis, impuso cuatro aspiraciones de carácter fundamental:

1. **De seguridad**: Que se garantice la continuidad del suministro, con una matriz orientada a incrementar la soberanía energética de Chile.

2. **Económicos y sociales**: Que los precios de la energía contribuyan a la competitividad del país y a mejorar los niveles de equidad

3. **Medioambientales**: Que contribuya a frenar el cambio climático global y que reduzca al mínimo los impactos en los ecosistemas locales.

Estas aspiraciones estratégicas, derivadas de las situaciones de riesgo vividas a fines de los 90 y durante buena parte de la primera década del 2000, imponen al país un conjunto de desafíos. La siguiente tabla ofrece una síntesis de ellos:

OBJETIVO ESTRATÉGICO	DESAFÍOS
Seguridad	Reducir y diversificar la importación de combustibles fósiles.
	Minimizar el riesgo de interrupción del suministro.
Económicos y sociales	Controlar y reducir los precios de la energía.
	Garantizar el acceso universal.
	Incrementar los niveles de eficiencia energética.
Medioambientales	Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
	Proteger los ecosistemas nacionales.

Las afirmaciones de los líderes de opinión, la evolución del debate en los medios de comunicaciones y otros elementos presentes en los estudios permiten formar que estos objetivos y desafíos gozan actualmente de consenso político y social en Chile, tanto en el sistema institucional como en la comunidad académica y la sociedad civil.

Ello no es extraño, dado que también se trata de ámbitos de preocupación globales, que integran el debate sobre la energía a lo largo del mundo. Esta sincronía es un segundo e importante motivo para insertar dentro de tales referencias el debate local sobre la núcleoelectricidad: allí se originan y residen los criterios para evaluar toda fuente de producción de energía.

1.2 Hacia un piso de consenso

El estado actual del debate público respecto de la núcleoelectricidad, según se colige de los estudios, es poco profundo, contiene serias asimetrías de información y mantiene a las opiniones mayoritarias en un estado "de construcción". Como se ha dicho antes en este informe, dos decisiones de Estado se encaminan a modificar este estado de cosas, más allá de que tal intervención haya sido prevista o no en sus intenciones originales. Estas medidas son:

1. La creación de la Comisión Presidencial Sobre Núcleoelectricidad, su continuación en el Grupo Consultivo para la Energía Nuclear y los estudios técnicos encargados por este último.
2. La elaboración de un informe final, que reúne los estudios mencionados, y que será entregado por el ministro de Energía a la Presidenta de la República.

Es importante subrayar que, en cumplimiento de las disposiciones de la ley de Transparencia, los estudios encargados por el Grupo Consultivo han tomado estado público inmediatamente después de haber sido oficialmente aceptados. En conocimiento de ello, los medios de comunicación han ofrecido una divulgación parcial e irregular de algunos de sus contenidos. La situación de tales estudios, a la fecha, es la siguiente:

INFORME	INSTITUCIÓN	ÁMBITOS	ESTATUS
Marco regulador nuclear: Experiencia internacional.	Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia (STUK)	Regulación energética, ambiental y de seguridad nuclear.	Publicado
Opciones de ciclo de combustible nuclear.	AMEC-CADE Ingeniería y Desarrollo de Proyectos Limitada	Tipos de plantas y reactores; costos del combustible; independencia energética.	Publicado
Roles del Estado y el sector privado en la generación nucleoeléctrica: Experiencia internacional aplicable a Chile.	Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants Limited		Publicado
Análisis relativo de impactos y riesgos de la generación nucleoeléctrica.	Corporación Nuclear Eléctrica de Chile S.A.	Riesgos e impactos comparados entre fuentes de energía; emisiones; desechos; costos.	Publicado
Asesoría técnica en la elaboración de un programa de comunicaciones para avanzar a una toma de decisión informada y participativa sobre el desarrollo de infraestructura nuclear.	TIRONI | Asociados	Consultoría y estudios en el ámbito de las comunicaciones y opinión pública.	En entrega
Requerimientos de adecuaciones del marco legal ante la eventual incorporación de la energía nuclear de potencia.	Fundación Facultad de Derecho de la Universidad de Chile- Estudio Barros Errázuriz Abogados		En proceso
Análisis y propuesta de regulación nucleoeléctrica.	Systet S.A.		En proceso

De este modo, **los informes técnicos se han convertido, por sí mismos, en actos de comunicación**, que no están orientados a movilizar a la opinión pública hacia posiciones favorables o desfavorables, sino simplemente a avanzar en el análisis de la núcleoelectricidad como una opción analizable para incrementar la diversificación de la matriz energética, sin sustituir a otras formas de producción energética.

Los informes representan, en este sentido, un primer paso en el camino a reducir las brechas de información en lo que se refiere a la viabilidad de la opción nucleoeléctrica. Sin embargo, el carácter altamente técnico e inevitablemente parcial de cada uno de ellos ha hecho que, como era de esperar, su difusión haya sido aún limitada. En cambio, la integración de dichos reportes en un informe final, por parte del ministro de Energía, debería tener repercusiones más amplias y dar inicio a una nueva fase, tanto institucional como de opinión pública.

Considerando lo anterior, **desde el punto de vista de la comunicación, cabe distinguir, para el futuro inmediato**, dos fases, con características bien diferenciadas:

ETAPA 1: FACTIBILIDAD	**ETAPA 2: DEFINICIÓN ESTRATÉGICA**
DETERMINANTE	DETERMINANTE
Crisis energética	Visión estratégica de largo plazo
PREGUNTA PRINCIPAL	PREGUNTA PRINCIPAL
¿Es factible en Chile?	¿Es conveniente para Chile?
PREGUNTAS EJES	PREGUNTAS EJES
¿Es riesgosa? ¿Es competitiva? ¿Es sustentable? ¿Está Chile preparado?	¿Cuáles son los costos y beneficios? ¿Es bueno o malo para Chile?¿Se puede gestionar el riesgo? ¿Qué hacer con los desechos? ¿Qué institucionalidad se necesita? ¿Choca con otros intereses o actividades económicas? ¿Cuáles serían los emplazamientos posibles?
PRODUCTOS OFICIALES	PRODUCTOS OFICIALES
1. Informe Grupo Consultivo Nuclear 2. Informe del ministro.	1. Proyectos de ley. 2. Diseño institucional.
ACTORES PRINCIPALES	ACTORES PRINCIPALES
Medios de comunicación; ONG; Gobierno; Especialistas (académicos), Asociaciones empresariales.	Medios de comunicación; ONG; Gobierno; Especialistas; Parlamentarios; Comunidades.

La Etapa 1 está actualmente en curso y se completará con la entrega del informe final. Desde el punto de vista de la comunicación, es esencial que el

cambio de etapa sea sancionado públicamente con la formalidad de un problema de Estado, para generar así un grado básico de acuerdo que haga posible la discusión y la saque del estado hipotético y especulativo.

¿Qué se puede entender por un grado básico de acuerdo en este punto? Esencialmente, generar dentro del sistema institucional y de la sociedad civil un consenso mínimo en torno a dos puntos (que ya están parcialmente instalados, como lo demuestran los estudios):

- **El desafío estratégico que enfrenta Chile de planificar a largo plazo el desarrollo y la diversificación de su matriz energética, para que sea segura, independiente, competitiva y sustentable.**

- **La necesidad de considerar todas las formas de producción energética en su mérito propio y dentro de la matriz, con un análisis racional de sus costos y beneficios.**

Para cumplir esta finalidad se proponen a continuación tres grupos de acciones de comunicación, todas centradas en la entrega del informe final sobre núcleoelectricidad y orientadas por la perspectiva de abrir paso a la Etapa 2.

1.3 Acciones de Comunicación propuesta Eje 1

Grupo de Acciones 1: Entrega del informe final

El objetivo principal aquí es dotar al informe final sobre núcleoelectricidad del sello de un documento de Estado, que traspasa los límites de un gobierno y compromete a Chile en su conjunto. Para ello se propone:

a. Realizar, *inmediatamente antes de la entrega oficial*, una ronda de conversaciones con los directores (y editores, según el caso) de los principales medios de comunicación orientados a líderes de opinión para discutir el sentido y el horizonte estratégico del informe, y anticipar –con el carácter de información de background- la orientación de algunas de sus conclusiones y recomendaciones. Estos encuentros pueden ser entre 4 y 6.

b. Establecer, en el mensaje de entrega del informe final, que este es el cierre del ciclo iniciado con la conformación, por iniciativa presidencial, del Grupo Consultivo para la Núcleo Electricidad, y que corresponde ahora proseguir la discusión sobre la base de la viabilidad establecida por los informes técnicos. El mensaje debe ser entregado a los medios de comunicación. En la ceremonia deben estar representados todos los actores institucionales y sociales, según propone el siguiente cuadro de referencia:

Invitados a la entrega del informe*
Presidentes de la Cámara de Diputados, el Senado y la Corte Suprema.
Presidentes de partidos políticos.
Miembros de las comisiones de Energía, Medio Ambiente, Hacienda y Economía del Congreso.
Miembros del Grupo Consultivo Nuclear de la Comisión Nacional de Energía.
Altos Mandos de las Fuerzas Armadas.
Dirigentes de asociaciones gremiales, empresariales y sindicales.
Rectores de universidades, presidentes de sociedades científicas y de la Academia de Ciencias.
Directores de medios de comunicación.
Líderes de la sociedad civil (ONG de protección del medio ambiente y desarrollo sustentable)
Representantes de iglesias y confesiones religiosas.

*Sólo a modo de referencia.

c. Realizar, *inmediatamente después de la entrega oficial*, un seminario internacional de carácter académico en el que se discutan los resultados del informe a la luz de la política energética de Chile, con exposiciones de expertos sobre tres tópicos centrales: factibilidad técnica y económica; riesgos y oportunidades; y capacidades y brechas de Chile. Se debe propender a que participen de estas ponencias representantes de los diversos ámbitos institucionales. A modo de ejemplo:

Decanos de Ingeniería	Científicos	Centros de Estudio	Parlamentarios	Editores y prensa especializada
Ejecutivos empresas eléctricas	ONG	Líderes gremiales	Líderes ambientalistas globales	Otros

Grupo de acciones 2: Participación del Congreso

El objetivo principal en este caso es aquí es dar señales claras acerca del papel fundamental que tendrá el Poder Legislativo, en cuanto representación de la ciudadanía, por la vía de indicar –aún a nivel preliminar- qué tipo de reformas y proyectos de leyes debería empezar a desarrollar el Poder Ejecutivo para cubrir la

principal brecha que tendría un programa nucleoeléctrico en Chile: la institucionalidad. Para esto se propone:

a. Desarrollar un programa de entrevistas del ministro de Energía con diversos medios de comunicación –con posterioridad a la entrega del informe-, cuidando de que el foco sea la función del Parlamento como culminación institucional del debate público.
b. Desarrollar un programa de reuniones del ministro y algunos miembros del Grupo Consultivo, con parlamentarios especializados en los temas energéticos y con lo que participen en las comisiones de Energía, Medio Ambiente, Hacienda y Economía. Debe informarse a la prensa de estos encuentros.

Grupo de acciones 3: Nuevo Gobierno

Teniendo en cuenta que la divulgación del informe final coincidirá con el inicio del período de transición de una administración a la que resulte de las elecciones presidenciales del 17 de enero, el objetivo de estas acciones es dotar al debate sobre núcleoelectricidad de la continuidad propia de un problema estratégico, por encima de las diferencias de visiones entre dos administraciones. Estas acciones consideran la designación anticipada de las nuevas autoridades del sector energético por el nuevo Presidente, así como la vigencia del Grupo Consultivo Nuclear, que ofrece una plataforma para comunicar la continuación del proceso.. Para esto se propone:

a. Concordar una reunión de trabajo del actual ministro de Energía y el Grupo Consultivo con las autoridades del sector nombradas por el nuevo Presidente electo, para entregar los detalles del informe final e informar del sentido de las recomendaciones que contiene.

b. Conferencia de prensa del actual ministro de Energía, en marzo, a modo de cierre y balance de su gestión, incorporando como elemento destacado el proceso seguido en torno a la núcleoelectricidad (fin de Etapa 1).

c. Procurar que el nuevo ministro de Energía otorgue a lo menos una entrevista a un medio de comunicación en la que confirme la continuación del proceso de discusión pública.

EJE ESTRATÉGICO 2: LA SUSTENTABILIDAD GLOBAL Y LOCAL

1. El cambio climático

Como se ha descrito en la primera parte de este informe, una parte mayoritaria de las personas sitúan entre los requisitos prioritarios de la producción de energía el cuidado por el medio ambiente. Muchas de ellas perciben también –con más claridad de la imaginada- que la sustentabilidad en nuestros días no tiene sólo una dimensión local, sino que se extiende a la producción de gases de efecto invernadero que impactan en la modificación del clima en el mundo.

Por lo tanto, toda discusión sobre la producción de energía debe situarse tanto en esa percepción mayoritaria como en el esfuerzo de la comunidad internacional por reducir aceleradamente la emisión de gases de efecto invernadero y contener el calentamiento global. Este último cuadro es especialmente importante en la discusión sobre la núcleoelectricidad. De hecho, no es posible explicar el resurgimiento del interés por la generación de este tipo en Occidente sin la creciente preocupación por el cambio climático y el desafío de construir matrices energéticas menos intensivas en combustibles fósiles.

La consideración de la energía nuclear como una opción realista y eficiente para contener el calentamiento global comenzó con el respaldo de científicos, activistas y líderes del movimiento ambientalista y conservacionista, como Richard Lovelock, o Patrick Moore, pero adquirió más potencia con la acumulación de nueva evidencia científica y académica respecto del impacto de las consecuencias ambientales, económicas y sociales del calentamiento global.

Concretamente, el informe sobre los impactos económicos del cambio climático redactado por sir Nicholas Stern por encargo del gobierno británico[4], publicado en 2006, y el IV Reporte del Panel Intergubernamental de Naciones Unidas para el Cambio Climático, de 2007, son ya aceptados como evidencia y han movilizado a los gobiernos a asumir nuevas aproximaciones para el diseño de estrategias energéticas de largo plazo, reevaluando su posición respecto de la energía nuclear.

Uno de los casos más ilustrativos es el de Gran Bretaña, que en tan sólo ocho años –de 2001 a 2007- pasó de descartar la energía nuclear a impulsarla con singular convicción. En 2001, un “White Paper” preparado por el gobierno del primer ministro Tony Blair recomendó postergar por cinco años cualquier determinación sobre generación nucleoeléctrica, a la espera de que se resolvieran las dudas respecto de los costos de construcción y operación de los reactores, y sobre la disposición final de los desechos radioactivos. Sólo cuatro años después, el gobierno ordenó un nuevo informe -publicado en 2007-, que no sólo recomienda

[4] Stern, Nicholas. The Economics of Climate Change. Cambridge University Press, 2006.

impulsar el desarrollo de nuevos reactores, sino que advierte que, de no hacerlo, no será posible cumplir el doble objetivo estratégico de incrementar la seguridad energética y reducir las emisiones de carbono. Se incumplirían en ese caso, según el texto, dos metas de máxima prioridad:

> "De seguridad: Nos volveríamos dependientes de un número limitado de tecnologías, algunas de ellas –como la captura y almacenamiento de carbono- aún no han sido probadas a una escala comercial en generación eléctrica. Esto expondría al Reino Unido a un mayor riesgo de abastecimiento, porque nuestras fuentes de generación serían menos diversas como consecuencias de excluir la energía nuclear.
>
> "De reducción de emisiones: Al eliminar una de las opciones de generación bajas en carbono más costo-efectivas disponible hoy, incrementaríamos el riesgo de no cumplir nuestras metas de largo plazo de reducción de emisiones"[5]:

2. **El debate en Chile**

Los estudios reflejan que los chilenos tienen un considerable conocimiento respecto del cambio climático y que lo consideran como un problema de gran importancia. Este parece ser el resultado de un cierto volumen informativo que ha estado impactando a la ciudadanía desde hace ya varios años.

Desde el nombramiento del ex Presidente Ricardo Lagos como Alto Comisionado para este tema por Naciones Unidas, hasta la constatación científica del impacto sobre los glaciares de la cordillera de Los Andes, la opinión pública chilena ha adquirido conciencia sobre el doble alcance global y local del fenómeno.

Con todo, esta mayor conciencia ambiental sigue siendo aún una aproximación relativamente "fría" o "pasiva", en la medida en que no se vuelven aún tangibles los impactos directos, especialmente aquellos de orden económico y social que pueden presentarse en la vida cotidiana de las personas. Esto podría estar cambiando, en la medida en que la comunidad académica, con el patrocinio del gobierno o de otras instituciones, comienza a hacerse cargo de la pregunta por los efectos del cambio climático en el horizonte de los próximos 20, 50 ó 100 años.

Este es el caso del informe "La economía del cambio climático en Chile"; publicado por Cepal[6] en noviembre de 2009, que por primera vez intenta evaluar las magnitudes del impacto del cambio climático sobre la base de dos escenarios previstos para distintos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero. El informe calcula, a partir de modelos de clima global, un incremento de las

[5] Meeting the Energy Challenge: A White paper on Energy. Mayo 2007.

[6] La Economía del Cambio Climático en Chile. Noviembre de 2009. Publicación de las Naciones Unidas.

temperaturas promedio para la zona central de Chile de 4º hacia fines de siglo, y una disminución de un 30% en el nivel de precipitaciones sobre la base del actual año normal.

Asimismo advierte, para cualquiera de los dos escenarios considerados, efectos fuertes sobre la producción agrícola, la disponibilidad de agua para el consumo humano y la disminución de la capacidad de generación hídrica debido a las menores precipitaciones. Resta por evaluar aún, como el propio informe advierte, los efectos del cambio climático vinculados con la biodiversidad, la salud humana, los recursos pesqueros y acuícolas, el alza del nivel del mar y su impacto costero, los eventos climáticos extremos y su impacto en la infraestructura, entre otros.

A partir de este "inventario", el gobierno constituyó en 2006 un Consejo Asesor Para el Cambio Climático, integrado por autoridades de diversos ministerios, miembros de la comunidad científica y representantes de la sociedad civil y el sector privado. Este Consejo definió una primera Estrategia Nacional para el Cambio Climático, que sirvió de base para –bajo la coordinación de la Comisión Nacional de Medio Ambiente- desarrollar un Plan de Acción Nacional de Cambio Climático para el período 2008-2012.

Este plan multisectorial está en ejecución, aunque presenta disímiles niveles de avance. Uno de sus objetivos es precisamente generar conciencia en la ciudadanía chilena de los efectos probables del calentamiento global, para que modifique sus actitudes y conductas. En la medida que los niveles de "awareness" crezcan, también será posible que construya una posición informada respecto de la matriz energética que Chile requiere y de los patrones de consumo energético que el nuevo escenario exige.

Los estudios presentados en este informe confirman esa tendencia: la ciudadanía está adquiriendo creciente interés por informarse y manifestar su opinión respecto de los asuntos de la energía. Ya no se trata de temas que sólo interesan a expertos y *policy makers*, sino que, por el contrario, se exige a éstos que tengan en cuenta los valores y las creencias de la ciudadanía, proporcionándole no sólo explicaciones, sino sobre todo información.

En el centro de la información requerida están, como es lógico, las ecuaciones de costo/beneficio que envuelven los diferentes modos de producción energética, incluyendo la núcleoelectricidad. Sin embargo, esas ecuaciones puede ser sesgadas o insuficientes si no incorporan la dimensión global, teniendo a la vista que ella tendrá impactos locales de magnitudes muy superiores a las que envuelven proyectos puntuales.

Con el objeto de incorporar este factor de análisis al debate sobre la núcleoelectricidad, se propone en seguida cinco grupos de acciones de comunicación, segmentadas en función de dos tipos de públicos:

1. Públicos masivos
Mujeres
Jóvenes (14-24 años)
Jóvenes ABC1
Adultos Segmentos D

2. Líderes de Opinión
Académicos
Parlamentarios
Funcionarios de gobierno
Editores y periodistas
Dirigentes gremiales y sindicales
Artistas e intelectuales
Líderes de la sociedad civil (ONG)
Autoridades religiosas
Centros de Estudios

3. Acciones de comunicación Eje Estratégico 2

Grupo de acciones 1: Campaña masiva sobre matriz diversificada

El objetivo general es introducir en el debate la importancia de desarrollar una matriz energética que cumpla tres objetivos a un mismo tiempo: 1) asegure el abastecimiento, 2) con las menores emisiones de carbono y 3) con la mayor eficiencia. *En cuanto campaña de bien público, esta es una acción de comunicación transversal, que permite cumplir varios de los objetivos estratégicos definidos en esta estrategia de comunicación*. El público objetivo está definido por la masividad, pero se requirere un énfasis especial en tres segmentos: jóvenes de 14 a 29 años; mujeres de GSE medios y medios-bajos; y hogares con bajo nivel de escolaridad/capital cultural. Para esto se propone:

a. Convocar a una licitación pública para una campaña publicitaria masiva, regida por el siguiente *brief*:
   - **La energía es un desafío fundamental para la humanidad en este siglo.**

- **Chile necesita energía para su desarrollo y para mejorar sus niveles de vida y de equidad.**
- **La energía no es un problema de expertos, sino de todos los chilenos.**
- **No existe la energía perfecta: todas tienen ventajas y desventajas.**
- **El cambio climático es una realidad, y va a afectar inevitablemente nuestras vidas. Debemos contribuir a la lucha para frenarlo.**
- **La defensa del medio ambiente pasa por reducir las emisiones de carbono.**
- **El tono debe ser optimista y de servicio.**
- **Se espera que la campaña sea capaz de transmitir con sencillez conceptos como matriz energética, independencia, eficiencia energética, emisiones de carbono.**
- **La campaña debe promover la búsqueda de más información en el sitio web institucional (ver grupo de acciones 2).**

b. Disponer de los recursos necesarios para cubrir los siguientes medios:

Televisión abierta
Televisión de pago
Prensa escrita de públicos masivos
Prensa escrita de opinión
Radios
Vía pública
Medios digitales

Grupo de acciones 2: Sitio web sobre matriz diversificada

Los objetivos principales de estas acciones son dos: 1) Fortalecer la apropiación de los contenidos incorporados en la campaña masiva en los públicos que deseen profundizar; y 2) generar una plataforma que permita utilizar las redes sociales en la diseminación de los mensajes de la campaña, y que sea capaz de comprometer y movilizar a la audiencia detrás de sus objetivos mediante dispositivos digitales de participación. El sitio debe ser concebido con contenidos específicos y segmentados para los siguientes públicos críticos: jóvenes, y especialmente estudiantes de enseñanza básica, media y superior; profesores de enseñanza básica y media; y medios de comunicación (periodistas).

Para fundamentar mejor esta propuesta, cabe anotar que:

- Los medios masivos tradicionales son muy efectivos para obtener visibilidad y recordación, y también para crear los estados de ánimo favorables para la modificación de actitudes y conductas.
- Sin embargo, una campaña de bien público como ésta requiere del respaldo de las plataformas digitales, porque permiten comunicar de manera sencilla y

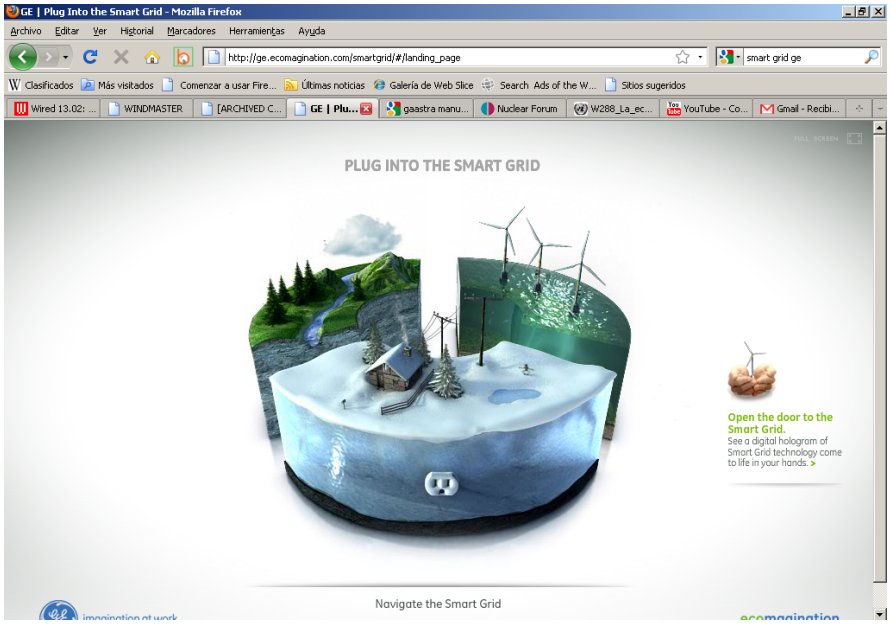
atractiva conceptos complejos, involucrar emocionalmente (*engagement*) a las audiencias y movilizarlas para que promuevan los mensajes mediante dispositivos de participación e interacción a través de las redes sociales.

- En los últimos años, desde el mundo corporativo y desde la sociedad civil, se han desplegado esfuerzos por simplificar y volver comprensibles conceptos complejos como “matriz energética”, “eficiencia energética”, “independencia energética”, “gases de efecto invernadero” y otros. Tales esfuerzos se han desplegado fundamentalmente en Internet, pues es el medio más flexible para desarrollar contenidos que soporten distintos grados de complejidad y a la vez permitan a los usuarios interactuar con ellos.

A título ilustrativo se puede tener a la vista los siguientes sitios ya existentes:

General Electric Smart-Grid.
www.ecoimagination.com/smartgrid

Mediante animaciones y contenidos interactivos, explica los beneficios de construir una matriz eléctrica “inteligente”, introduciendo mayores niveles de eficiencia, incorporando energías alternativas y masificando el uso de medidores inteligentes, todo lo cual permite reducir las emisiones de CO2 en Estados Unidos.



Chevron Energy-ville
http://www.willyoujoinus.com/energyville/

Desarrollado por The Economist Group, es un juego “de estrategia y simulación social” –de la misma categoría de The Sims o Civilization- en el que los usuarios definen la matriz energética para su ciudad, considerando su costo económico, su impacto ambiental y el nivel de seguridad. En las siguientes etapas, los jugadores deben enfrentar cambios de escenario por el desarrollo de nuevas tecnologías o por la irrupción de fenómenos geopolíticos, que los obligan a alterar sus decisiones.

School Carbon Footprint Calculator

Desarrollado en Inglaterra, es un juego escolar interactivo que permite medir, cargando datos sencillos, la huella de carbono de una escuela o liceo. Luego, el software recomienda acciones concretas para reducir la huella en cada liceo, y entrega consejos sobre cómo desarrollar estos proyectos.

En este caso, se propone:

a. Convocar a licitación pública para el diseño y desarrollo de un sitio web, con las siguientes características:
   - Debe estar orientada a explicar en primer lugar, de forma sencilla y atractiva, el concepto de matriz energética.
   - Es condición fundamental que contenga una plataforma interactiva que permita a los usuarios apreciar, involucrándose personalmente, el impacto de las decisiones que el país aborde sobre a) la competitividad de la economía chilena; b) el medio ambiente, y muy especialmente el cambio climático; y c) la seguridad energética. Sin ser condición, será altamente valorizado el proyecto que agregue una dimensión lúdica a este aspecto.
   - Debe ofrecer, sobre la plataforma interactiva, contenidos específicos para quienes quieran profundizar.
   - Debe ser capaz de ofrecer, nuevamente a partir de la plataforma interactiva, otros canales de involucramiento *off-line*. Por ejemplo, actividades didácticas para profesores.
   - Debe estar alineada conceptualmente con la campaña masiva.
   - Debe contener la información institucional vinculada con matriz energética del Ministerio de Energía, presentada de manera efectiva, incluyendo indicadores de emisiones, comparaciones internacionales y tipos de generación disponibles en Chile.
   - Debe incorporar explicaciones esquemáticas, pero completas (productividad, costo, emisiones y otros), sobre todas las alternativas de producción de energía, aunque no estén presentes en Chile, incluyendo a la nucleoeléctrica.
   - Debe vincularse con las redes sociales más usadas en Chile mediante herramientas para compartir contenidos, piezas viralizables, etc.
   - Debe ser capaz de entregar un análisis detallado y periódico sobre los usuarios del sitio, mediante aplicaciones de monitoreo de tráfico web.

b. Desarrollar un plan de socialización del sitio web dirigido a establecimientos de enseñanza básica y media, mediante comunicación directa (folletos digitales o impresos).

c. Generar cobertura de prensa para difundir la existencia y el uso del sitio web.

Grupo de acciones 3: Abordar los planes de enseñanza básica y media

El objetivo principal es intervenir en el desarrollo de los currículos de enseñanza básica y media con el fin de que las generaciones futuras dispongan de más y mejor información sobre el problema energético, pero también para promover el debate entre los profesores y las familias.

Para visualizar el alcance de esta propuesta es preciso revisar los siguientes antecedentes:

- El currículo es un documento de carácter normativo que establece objetivos y contenidos mínimos. De él surgen luego los programas de estudio para cada curso, que desarrollan los contenidos, las orientaciones didácticas y los textos de estudio.
- A nivel de los textos, que dan forma y secuencia a los aprendizajes, existe plena libertad para el desarrollo editorial, pero, de toda la oferta disponible, el Ministerio de Educación elige un conjunto limitado para cada nivel y asignatura y lo entrega gratuitamente al sistema de educación subvencionado (pública municipal y particular subvencionada), que concentra a más del 90% de la matrícula en Chile.
- El sector de Ciencias Naturales del currículo escolar chileno comprende íntegramente los contenidos que refieren a Energía y Medio Ambiente en un sentido amplio.
- En el caso de la enseñanza básica, se estructura en un solo curso –Ciencias Naturales- que incorpora la Biología, la Física y la Química.
- En el caso de la enseñanza media, las Ciencias Naturales son impartidas en tres sub-sectores: Biología, Química y Física.
- El Ministerio de Educación presentó en mayo de 2009 una Propuesta de Ajuste Curricular para este sector –el de Ciencias Naturales-, que actualiza el diseño curricular definido en 1998.
- Este ajuste curricular, aprobado por el Consejo Nacional de Educación, introdujo cambios en los Objetivos Fundamentales y los Contenidos Mínimos Obligatorios que definen y dan forma a los aprendizajes de Primer Año Básico a Cuarto Medio.
- Revisar este ajuste curricular a la luz de aquellos contenidos vinculados con conceptos críticos para la estrategia energética permite conocer –desde un prisma estructural- la forma en que la educación formal se hace cargo de ellos desde la infancia, así como identificar puntos de apoyo para la comunicación, oportunidades y vacíos.
- Del análisis detallado del ajuste propuesto en 2009 se puede concluir que el currículo incorpora objetivos y contenidos mínimos que son plenamente

funcionales para el objetivo de generar una visión compartida sobre el tipo de matriz energética que Chile requiere.

- En primer lugar, porque por primera vez se incorporan en el currículo tópicos como el calentamiento global, el cambio climático y los efectos sobre la vida.
- En segundo lugar, porque se incorpora como unidad de currículo la energía nuclear y se exhorta a los docentes a generar reflexiones y análisis críticos sobre las ventajas y riesgos de emplearla para la generación eléctrica. Esas horas de aula potencialmente pueden –si son empleadas con eficacia- cerrar brechas de información asociadas a la núcleoelectricidad y construir un piso mínimo de conocimiento para la constitución de un debate informado.
- Con todo, es relevante tener en cuenta las siguientes limitaciones:
    - La alta dispersión del sistema escolar, en miles de establecimientos (sobre 2.500 sólo en educación media).
    - La disparidad en la calidad de los docentes y su capacidad de cubrir íntegramente el currículo.
    - La heterogeneidad del capital cultural de los alumnos.
- Todo lo anterior indica que resulta crítico apoyar integralmente los esfuerzos del sistema escolar generando, desde el Ministerio de Energía, sistemas y medios que permitan mejorar el aprendizaje de millones de estudiantes.
- Este apoyo resulta más evidente desde que ciertos contenidos vinculados con el desafío energético que enfrenta Chile surgen de nuevos conocimientos acumulados en los últimos cinco a quince años, que sólo recientemente han alcanzado el consenso académico suficiente para ser considerados en el currículo del sistema de educación.
- Ejemplos de esto son la investigación en torno al cambio climático, el desarrollo de mecanismos y protocolos internacionales para reducir las emisiones y las innovaciones en el campo de las Energías Renovables No Convencionales.
- Uno de los problemas frecuentes de las actualizaciones curriculares es que los docentes, especialmente aquellos mayores, tienen dificultades para incorporar nuevos contenidos. Para ello, el Ministerio de Educación ha desarrollado –a través del Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigación Pedagógica, CPEIP- diversos programas de capacitación con diferentes modalidades (formación entre pares; e-learning; cursos presenciales; pasantías y otras)[7]

[7] Para más detalles, consultar www.cpeip.cl

- A continuación, y con fines ilustrativos, se identifican en el currículo de Ciencias Naturales los Objetivos Fundamentales y los Contenidos Mínimos Obligatorios relevantes para el diseño de la política que ha definido la CNE.
- Para ello, se consideran:
    - los Objetivos Fundamentales (OF)
    - los cuatro ejes temáticos vinculados con la discusión sobre matriz energética, del total de seis en que se organizan los Contenidos Mínimos Obligatorios de Ciencias Naturales, y que son:
        - "Organismos, Ambientes e Interacciones".
        - "Materia y sus Transformaciones".
        - "Fuerza y Movimiento".
        - "La Tierra y el Universo".

ENSEÑANZA BÁSICA (1º A 8º) CURRÍCULO CIENCIAS NATURALES					
AÑ0	OBJETIVOS FUNDAMENTALES	"ORGANISMOS, AMBIENTES E INTERACCIONES"	"MATERIA Y SUS TRANSFORMACIONES"	"FUERZA Y MOVIMIENTO"	"LA TIERRA Y EL UNIVERSO"
1º					
2º	-Comprender que entre seres vivos y hábitat existen relaciones de interdependencia. -Reconocer la existencia de fuerzas en la naturaleza.	-Identificación de recursos del ambiente necesarios para satisfacer necesidades vitales de los seres vivos		-Descripción de acciones cotidianas en que operan fuerzas (movimiento de un auto)	-Reconocer que en nuestro planeta existen zonas ocupadas por agua dulce y salada, rocas y tierra, masas de hielo polar, vegetación, y de la importancia que esto tiene para permitir la vida.

3º	-Valorar y describir diversos hábitat, relaciones entre organismos y condiciones adecuadas para el soporte de la vida.	-Descripción de componentes (luz, agua, entre otros) del hábitat que hacen posible el desarrollo de la vida. -Descripción de relaciones simples entre diversos organismos de un hábitat.			
4	-Comprender que los seres vivos desarrollan ciclos de vida característicos y que éstos se relacionan con sus hábitat. -Reconocer el efecto del calor en los cambios de estado del agua.	-Descripción de las relaciones que se establecen entre elementos del hábitat.	-Identificación de fenómenos naturales, aplicaciones tecnológicas y uso cotidiano donde es posible evidenciar cambios en el estado del agua y otros materiales.		
5º	Reconocer los efectos negativos de la contaminación ambiental y de la explotación de las especies sobre la biodiversidad. -Reconocer que la Energía se manifiesta de diversas maneras.	-Descripción de los efectos de la contaminación ambiental y explotación de la diversidad de especies animales y vegetales, por ejemplo en algunos hábitats de Chile.	-Identificación, en situaciones cotidianas, de diversas formas en que se manifiesta la energía, cómo cambia de una forma a otra.		
6º	-Conocer las características básicas de las fuerzas eléctricas. -Reconocer el impacto social y tecnológico de			-Descripción del funcionamiento de circuitos eléctricos simples. -Reconocimiento de métodos	-Descripción de situaciones de contaminación de la atmósfera, hidrósfera, y litósfera debido a

	la energía eléctrica en el mundo moderno, a través de aplicaciones y la necesidad de emplearla eficientemente, identificando las principales fuentes que permiten generarla. -Comprender que las capas que conforman la Tierra pueden ser alteradas e impactar el desarrollo de la vida-			que permiten electrizar objetos. -Identificación de diversas aplicaciones de la Energía Eléctrica, su contribución al mundo moderno y la necesidad de usarla de forma eficiente.	actividades humanas y sus consecuencias para la vida.
7º	-Reconocer que al interior de los ecosistemas se generan diversos tipos de interacciones. -Reconocer los factores que dan origen a las transformaciones físico químicas de la materia.	-Descripción de procesos básicos de los ciclos de carbono, y los principales efectos de la intervención humana en estos procesos.	-Identificación de los elementos químicos más comunes en la tierra (…), destacando el uso de algunos de ellos que tienen importancia industrial.	-Identificación de los factores que permiten la formación de compuestos mediante reacciones químicas, explicando aquellas más comunes en la vida cotidiana como la combustión de gas natural.	
8º	-Comprender la utilidad de los modelos atómicos y de la teoría atómica para explicar procesos de transformación físico-química de la materia. -Reconocer las transformaciones de la Tierra a través del tiempo		-Descripción de la teoría atómica de Dalton, y los modelos desarrollados por Thompson, Rutherford y Bohr, que dan cuenta de la constitución atómica de la materia. -Descripción, usando modelos atómicos, de las transformaciones físico-químicas de	-Descripción del rol que desempeñan las fuerzas eléctricas en la estructura atómica y molecular, como en la electrización de cargas.	-Explicación elemental, en términos de energía, fuerza y movimiento, de fenómenos naturales de la atmósfera, hidrósfera y litósfera, como temporales, mareas, y su impacto sobre la vida.

	geológico y describir fenómenos naturales de gran escala y sus consecuencias para la vida.		la materia. -Explicación básica de electrización, conductividad eléctrica y calórica, emisión y absorción de la luz		

ENSEÑANZA MEDIA (1º A 4º) CURRÍCULO BIOLOGÍA		
CURSO	OBJETIVOS FUNDAMENTALES	CMO: "ORGANISMOS, AMBIENTES E INTERACCIONES"
1º EM		
2º EM	-Reconocer la interdependencia organismos-ambiente como un factor determinante de las propiedades de poblaciones y comunidades biológicas. -Comprender el efecto de la actividad humana sobre la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas	-Descripción de los efectos específicos de la actividad humana en la biodiversidad y equilibrio de los ecosistemas, por ejemplo, en la dinámica de poblaciones y comunidades de Chile.
3º EM		
4 EM	Comprender los efectos de problemáticas globales, como el calentamiento de la Tierra y la contaminación ambiental, sobre la biodiversidad y su conservación en el equilibrio de los ecosistemas.	-Descripción de los principios básicos de la biología de la conservación y el manejo sustentable de recursos renovables. -Descripción del efecto de de la actividad humana en la modificación de la bio-diversidad a través de ejemplos concretos en algunos ecosistemas. -Análisis del problema del crecimiento poblacional humano a nivel mundial en relación con las tasas de consumo y los niveles de vida. -Descripción de los efectos del calentamiento global en el ambiente y en las relaciones entre los organismos.

ENSEÑANZA MEDIA (1º A 4º) CURRÍCULO QUÍMICA		
CURSO	OBJETIVOS FUNDAMENTALES	CMO: "ORGANISMOS, AMBIENTES E INTERACCIONES"
1º EM		
2º EM		
3º EM	-Comprender las transformaciones de la energía calórica involucradas en las	-Descripción teórica de las transformaciones de energía calórica

	reacciones químicas (…)	que acompañan procesos químicos, aplicando las leyes y los factores energéticos asociados a la reactividad. Por ejemplo, para seleccionar el uso de un combustible poco contaminante; estudios de efecto invernadero y calentamiento global.
4º EM	-Comprender los fundamentos relaciones con la radiactividad natural, distinguiendo los procesos de fisión y fusión nuclear. -Evaluar las ventajas y desventajas de las tecnologías nucleares en los campos de la salud, la energía y la producción energética.	- Descripción de los procesos de decaimiento reactivo, fisión y fusión nuclear y su utilización en la generación de energía, y aplicaciones tecnológicas en los ámbitos de la salud y la alimentación. -Identificación de las ventajas y desventajas del uso de la energía nuclear en comparación con otras fuentes de energía renovables y no renovables, en el contexto de los requerimientos energéticos del país.

ENSEÑANZA MEDIA (1º A 4º) CURRÍCULO FÍSICA		
CURSO	OBJETIVOS FUNDAMENTALES	CMO: "ORGANISMOS, AMBIENTES E INTERACCIONES"
1º EM		
2º EM		
3º EM	-Comprender los efectos nocivos que la acción humana puede provocar sobre la atmósfera, la litosfera, y la hidrosfera, y la necesidad de emplear eficientemente los recursos energéticos para atenuar dichos efectos.	-Reconocimiento de los mecanismos físicos que permiten explicar fenómenos que afectan la atmósfera, litosfera e hidrosfera (calentamiento global, reducción de la capa de ozono, aumento del nivel de los mares, etc.) y de la responsabilidad humana en el origen de dichos fenómenos.
4º EM	-Comprender leyes y conceptos básicos de la electricidad y el magnetismo, la relación que existe entre ambos y su rol en fenómenos de la vida diaria y el funcionamiento de dispositivos tecnológicos. -Comprender la importancia de las fuerzas nucleares y electromagnéticas a nivel del núcleo atómico para	- Verificación experimental y representación gráfica de la ley de OHM y aplicación elemental de la relación entre corriente, potencia y voltaje en el cálculo de consumo doméstico de energía eléctrica. -Descripción de la corriente como un flujo de cargas eléctricas, distinguiendo

	explicar diversos fenómenos.	entre corriente continua y alterna. -Descripción de los componentes y funciones de la instalación eléctrica domiciliaria. -Identificación de la relación cuantitativa entre corriente eléctrica y magnetismo. -Reconocimiento de la fuerza magnética ejercida sobre un conductor que porta corriente: el motor eléctrico de corriente continua. -Caracterizaciones de los efectos del movimiento relativo entre una espira y un imán: el generador eléctrico y sus mecanismos de acción por métodos hidráulicos, térmicos, eólicos. -Descripción elemental de las fuerzas nucleares y electromagnéticas que mantienen unidos los protones y neutrones en el núcleo atómico para explicar la estabilidad de la materia y otros fenómenos.

Para cumplir con estos fines se propone:

a. Generar cursos y talleres de formación y actualización entre el Ministerio de Energía y el CPEIP del Ministerio de Educación para el desarrollo de cursos, talleres y otras modalidades de formación que favorezcan: 1) una rápida actualización curricular de los docentes del sector Ciencias Naturales; y 2) el desarrollo de técnicas didácticas atractivas, soportadas idealmente sobre tecnologías de la información y Comunicación, orientadas a la enseñanza de temas vinculados con la Energía.

b. Fomentar el desarrollo de recursos educativos interactivos, que aprovechen la creciente disponibilidad de computadores entre los profesores (según la Encuesta Longitudinal Docente 2005, 61% de los profesores del sistema municipalizado, 73% del particular subvencionado y 81% del particular), su nivel de acceso a Internet (61% a diario o una vez a la semana, 64% de uso para “buscar información de apoyo a la docencia”) y el Plan TEC (Tecnologías para una Educación de Calidad) desplegado desde 2007 por el Ministerio de Educación con el fin de reducir de 24 a 10 la tasa de niños por computador en el sistema de educación subvencionado, hasta alcanzar estándares similares a los de países desarrollados. Todos estos materiales están disponibles en un Catálogo de Recursos Digitales que opera en línea, y que permite –mediante un fondo para la adquisición de recursos que

durante 2009 incorporó a más de 1.900 escuelas y liceos- permite a los establecimientos descargar o comprar en línea ese tipo de aplicaciones.
Cabe consignar que esta consultoría revisó en detalle el material disponible en el sector de Ciencias Naturales de la enseñanza media, especialmente en los sub-sectores de Física y Biología (ver www.catalogored.cl), sobre la base de la descripción que el programa Enlaces efectuó para cada recurso o aplicación en una ficha técnica. De esa revisión puede concluirse que: 1) los *software* y aplicaciones se concentran en el apoyo para el aprendizaje de conceptos generales del curriculo (electricidad; electro-magnetismo; ecosistemas); 2) no existen recursos vinculados al calentamiento global, el cambio climático y a los efectos sobre los ecosistemas y la vida humana; 3) no hay recursos especialmente diseñados para la comprensión y el análisis crítico de la matriz energética, y su impacto sobre el crecimiento económico y el medio ambiente.
Así, existe una clara oportunidad para apalancar y amplificar, desde el sistema escolar, un debate informado sobre la energía y sus impactos, desarrollando aplicaciones y recursos digitales que faciliten el trabajo docente. Entre las varias alternativas institucionales para tomar esta oportunidad, la más efectiva parece ser la de incorporar al Ministerio de Educación y su programa Enlaces, tanto por sus canales de distribución como por su legitimidad técnica y pedagógica.

c. Concurso para el desarrollo de recursos y aplicaciones digitales de apoyo curricular diseñadas específicamente para abordar los temas de matriz energética y cambio climático, con las siguientes condiciones básicas:
   - En materia de matriz energética, deben adoptar la perspectiva de Chile, es decir, sus realidades, desafíos, problemáticas y oportunidades propias.
   - Deben enfatizar en los impactos de los diversos modos de producción de energía sobre los ecosistemas y la atmósfera.
   - Deben comunicar adecuadamente la complejidad del problema, la diversidad de sus actores y la necesidad de balancear las consecuencias (*trade-off*) de cada opción.
   - Deben fomentar la reflexión crítica en conjunto con el realismo, la factibilidad y la innovación.
   - Deben cubrir al menos los siguientes ámbitos, respetando el marco curricular definido por el Ministerio de Educación:

ÁMBITO	CONTENIDOS
Matriz energética	Tecnologías de generación eléctrica
	Energía y crecimiento económico
	Eficiencia energética
	Independencia energética
Energía y Medio Ambiente	Impactos ambientales
	Energía y ecosistemas
	Emisiones
	Huella de carbono

Cambio climático	Causas del calentamiento de la atmósfera
	Efectos sobre el clima y los ecosistemas
	Debate global (comunidad internacional)
	Estrategias de mitigación
	Estrategias de adaptación
	Consecuencias ambientales para Chile
	Impactos económicos y sociales

d. Generar cobertura de prensa especializada (energía, economía y educación) acerca de la puesta en marcha de estas iniciativas.

Grupo de acciones 4: Cambio climático en líderes de opinión

El objetivo general de estas acciones es incorporar la variable del cambio climático en todas las líneas de debate sobre energía entre líderes de opinión, y especialmente de la energía nucleoeléctrica, junto con proveer de plataformas formales que sostengan la discusión en el tiempo y permitan involucrar crecientemente a otros actores.

Darles el sentido adecuado requiere tener presente los siguientes datos proporcionados por los estudios descritos en la primera parte de este informe:

- Las brechas de información son diferentes según segmentos socioeconómicos.
- Los grupos de mayores ingresos y más años de educación son más sensibles al desafío de la energía en el contexto del cambio climático. En ABC1, 66% muestra mayor preocupación por la contaminación que por la independencia energética, y un 85% de los encuestados da prioridad a su limpieza por sobre su precio. El mismo grupo es capaz de identificar las principales fortalezas y debilidades de las diferentes formas de generación en el contexto actual, y de sortear las trampas conceptuales en las que caen otros segmentos de menores ingresos y escolaridad (por ejemplo, energía solar = barata).
- Entre líderes de opinión aparece instalado el desafío de constituir una matriz que garantice la disponibilidad de energía a precios competitivos, que incremente la independencia (autoabastecimiento) y que al mismo tiempo aborde el cambio climático y sea lo más neutra posible en emisiones de carbono.
- Tanto en el sector privado como en el mundo ambientalista hay conciencia de que será inevitable efectuar transacciones para lograr los objetivos comunes: Chile no podría permitirse una matriz totalmente “verde” sin afectar su competitividad, pero tampoco podría escabullir su responsabilidad frente al calentamiento global. Así, hay claridad en que las ERNC no soportan, por

sí solas, el crecimiento de la demanda por energía, y que el componente de carbón de la matriz actual debe perder presencia en el mediano y largo plazo.

- Entre los líderes de opinión se distinguen con nitidez tres posiciones respecgto de la energía nucleoeléctrica: los que la descartan (principalmente, líderes ambientalistas), los que la impulsan (ejecutivos de sectores productivos intensivos en energía, algunos académicos y expertos), y los que no tienen posición definida pero están disponibles para debatir.
- En estos tres grupos son comunes las dudas respecto de la capacidad técnica e institucional de Chile oara hacerse cargo de sistemas de generación energéticas tan complejas como la nucleoeléctrica.

Para enfrentar estas realidades se propone:

a. Organizar 15 seminarios regionales sobre núcleoelectricidad, en torno al conjunto de estudios encargados por la CNE. Estos seminarios –uno por cada capital regional- deben convocar como co-organizadoras a la o las principales universidades de la región, privilegiando aquellas con capacidades en las áreas de la Ingeniería y las Ciencias Físicas. Esta alianza es importante, desde que las universidades se están convirtiendo en el principal centro de concepción y diseño de las estrategias regionales de desarrollo, integrando a los sistemas productivos a través de la investigación aplicada que fomenta la Estrategia Nacional de Innovación para la Competitividad. La siguiente es una nómina tentativa de instituciones de educación superior que podrían participar en el desarrollo de los seminarios:

REGIÓN	UNIVERSIDAD	UNIDAD
XV	U. de Tarapacá	Escuela Universitaria de Ingeniería
I	U. Arturo Prat	Dirección General de Investigación
II	U. de Antofagasta	Facultad de Ingeniería
	U. Católica del Norte	Centro de Investigación y Posgrados
III	U. de Atacama	Rectoría
IV	U. de La Serena	Facultad de Ingeniería
V	PUCV	Vicerrectoría de Desarrollo
	UFST	Rectoría / Secretaría General
VII	U. de Talca	Rectoría / Vicerrectoría académica
VIII	U. de Concepción	Vicerrectoría / Dirección de Relaciones Institucionales
	U. del Bío-Bío	Rectoría
	U. del Desarrollo	Rectoría
IX	UFRO	Rectoría
XIV	U. Austral de Chile	Rectoría / Vicerrectoría Académica
	Centro de Estudios Científicos (CECS)	Dirección
X	U. de Los Lagos	Rectoría
	U. San Sebastián	Rectoría
XII	U. de Magallanes	Rectoría

Estos seminarios deben preocuparse especialmente de convocar a los siguientes públicos:

PÚBLICOS	ÉNFASIS
Comunidad académica	Profesores e investigadores ligados a energía y cambio climático;
Sector privado	Empresarios y ejecutivos de los principales sectores productivos.
Gremios	Líderes y directivos de asociaciones gremiales.
Sociedad civil	Líderes de ONG, fundaciones, o instituciones del "tercer sector".
Medios de comunicación	Directores, editores y periodistas especializados.
Autoridades parlamentarias	Senadores y diputados de cada región.
Gobiernos regionales	Representantes del gobierno regional.

b. Desarrollar un plan de cobertura de prensa regional y nacional para dar relieve a los seminarios y a sus protagonistas.

c. Generar un programa de *web-casting*, para transmitir en vivo, y con posibilidades de interacción a distancia, los seminarios regionales, de modo que puedan presenciarlos otros miembros de la comunidad académica, periodistas y otros públicos interesados. Este desarrollo permite, adicionalmente, generar un registro de cada seminario para su consulta posterior. Eventualmente, puede integrarse un media-partner regional interesado en transmitir el conjunto de seminarios, o algunos de ellos, a través de sus propias plataformas.

d. Crear un programa de *media-partnership*, que integre a medios de comunicación regionales en el desarrollo de los seminarios, no sólo para asegurar la cobertura mínima, sino sobre todo para posibilitar la continuidad de los debates más allá de los eventos formales. Dichos acuerdos deben procurar integrar a diversos soportes (televisión, prensa, radio, medios digitales) y a diversas cadenas o empresas periodísticas. Es preciso nominar a uno o más responsables para el seguimiento y la mantención de estas asociaciones.

e. Organizar un seminario matriz en la Región Metropolitana, como culminación de la secuencia de seminarios regionales, de acuerdo con las definiciones estratégicas adoptadas para ese momento. En este seminario deben ser incorporadas universidades, organizaciones de la sociedad civil y medios de comunicación. Las siguientes instituciones podrían ser co-organizadoras:

UNIVERSIDAD	UNIDAD
U. de Chile	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
U. Católica de Chile	Facultad de Ingeniería
U. Adolfo Ibáñez	Facultad de Ciencias

SOCIEDAD CIVIL	SECTOR
Chile Sustentable	Medio Ambiente
World Wildlife Fund	Medio Ambiente
Casa de la Paz	Medio Ambiente
Sofofa	Asociación gremial
Colegio de Ingenieros de Chile	Colegio profesional

Grupo de acciones 5: Hacia México 2010

Aquí el propósito es fijar, desde las comunicaciones, tres rasgos del posicionamiento de Chile frente a las negociaciones globales: 1) Transmitir crecientes niveles de transparencia interna y externa; 2) preparar una comunidad de especialistas en los medios de comunicación capaces de "traducir" los debates internacionales a las preocupaciones cotidianas de los chilenos; y 3) relevar la importancia de enfrentar el cambio climático mediante una estrategia de largo plazo.

Los antecedentes que fundamentan este grupo de acciones son los siguientes:

- Después de las duras y no del todo fructíferas negociaciones de la Conferencia para el Cambio Climático 2009 en Copenhague, el fin del horizonte de acción del Protocolo de Kyoto en 2012 y el comienzo de una nueva ronda para la cumbre de Ciudad de México en diciembre de 2010, abren una nueva oportunidad de posicionar entre los líderes de opinión la trascendencia de un acuerdo global para mitigar el calentamiento global y generar mecanismos de adaptación frente al cambio climático.
- En su cuádruple condición de país de desarrollo intermedio, con alta estabilidad política y económica, con bajo compromiso de sus ecosistemas y con amplísimas redes de acuerdos bi y multilaterales, Chile está en posición de ubicarse entre los líderes hemisféricos del tránsito hacia una economía verde, con una intervención protagónica en el debate global sobre el cambio climático.
- Los estudios de opinión confirman que los públicos más informados, y especialmente los más jóvenes, están preocupados y esperan acciones reales de Chile frente al cambio climático y el desarrollo de una economía centrada en la sustentabilidad global.
- El gobierno de Chile ya ha asumido oficialmente estas expectativas. En su Mensaje del 21 de mayo de 208, la Presidenta Michelle Bachelet señaló que "el cambio climático es la gran causa ética de la humanidad en este siglo, como lo fuera la paz en el siglo XX".
- En el mismo 2008, bajo la supervisión del Consejo Asesor para el Cambio Climático, el gobierno definió una Estrategia Nacional para el Cambio Climático, que además de traducir una visión socialmente compartida, también mandató a la Comisión Nacional de Medio Ambiente el desarrollo de

un plan de acción de mediano plazo que imponga objetivos precisos a un conjunto de instituciones y entidades públicas para los próximos cuatro años.

- En efecto, el Plan de Acción para el Cambio Climático 2008-2010 integró iniciativas diversas, muchas de ellas multisectoriales, en un conjunto coherente de medidas tendientes a generar información crítica sobre los impactos, definir escenarios probables nacionales y regionales, priorizar acciones urgentes y emprender fórmulas de mitigación de emisiones. Entre estas medidas figuran:
    - Elaboración de un inventario anual de gases de efecto invernadero en el sector energético y no-energético.
    - Ampliación de la capacidad de embalses para riego.
    - Desarrollo de plantas desalinizadoras de agua en el Norte Grande.
    - Elaboración de un inventario y sistema de monitoreo de glaciares.
    - Definición de grados de vulnerabilidad por cuencas.
    - Creación de un fondo nacional para la investigación en biodiversidad y cambio climático.
    - Actualización del currículo escolar.

- Las iniciativas multisectoriales son frecuentemente víctimas de la dispersión. Gestionadas sus comunicaciones por cada institución responsable, los mensajes se vuelven difusos y contradictorios, o bien son sepultados por los intereses de cada institución. Como resultado, las acciones pierden coherencia y sacrifican eficacia en la persecución de los objetivos estratégicos.
- Una alternativa usada para conciliar la ausencia de “comando central” en los planes multisectoriales es constituir una “marca paraguas”, que agrupe el conjunto de iniciativas y genere un posicionamiento coherente. Un caso de éxito reciente es la creación de la marca “Protege”, para agrupar la red de protección social tendida durante los últimos años desde cinco diferentes ministerios y sus servicios dependientes.

Para lo descrito en los párrafos precedentes, se propone:

a. Convocar a una licitación pública para desarrollar un plan de *branding* de la posición de Chile frente al cambio climático. Este plan debe generar el concepto y la marca “paraguas” que aglutine y dé coherencia a las iniciativas del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático. Dicha marca debería presidir la participación de Chile en la conferencia de México 2010. Las condiciones esenciales de este desarrollo de *branding* deben ser:

    - Definición clara de los valores y atributos que soportan la marca (“innovación”, “responsabilidad”, “naturaleza”, otros).
    - Desarrollo de una identidad visual (isotipo, logotipo, eslogan).
    - Desarrollo de un manual de marca, que incentive y regule su uso por parte de las diferentes instituciones involucradas.

- Definición de un conjunto de iniciativas prioritarias para el posicionamiento inicial de la marca.
- Desarrollo de canales de comunicación de los contenidos de la marca, especialmente en Internet.

b. Convocar a una licitación pública para el desarrollo de un sitio web altamente especializado, con información calificada, que describa y promueva la posición de Chile para el encuentro de México 2010. Este sitio debe ser diferente, pero estar relacionado con el sitio de fines didácticos descrito en el Grupo de Acciones 3, letra a.

c. Desarrollar un taller de actualización profesional para periodistas, en alianza con universidades y gremios del sector (ANP; ANATEL; Archi, Colegio de Periodistas). La primera versión de esta iniciativa debe tener el foco en la cobertura de la reunión de México 2010; en lo sucesivo podrá tener frecuencia anual o bi-anual y modificar su agenda de conformidad con la coyuntura. Con todo, los objetos principales del taller son los avances en el conocimiento del cambio climático y de las formas de producción de energía que impactan en él, con especial consideración de la núcleoelectricidad. El taller ha de tener las siguientes características básicas:

   - Debe ser impartido por una Institución de educación superior reputada y respetada en el ámbito de las comunicaciones.
   - Debe reunir contenidos teóricos y aproximaciones prácticas.
   - Debe ser impartido por académicos del área de comunicaciones y de las ciencias.
   - Debe tener un carácter formal dentro de las convenciones de la educación superior, para que sea atractivo para los profesionales.

d. Desarrollar contenidos en alianzas con medios de comunicación, sobre la base de fenómenos de impacto del cambio climático que se verifican continuamente y con clara referencia a la posición que Chile desplegará en México 2010. En el ámbito del marketing, esta forma de colaboración es conocida como "*branded content*": contenido de alta calidad, generado por un medio de comunicación, pero con el soporte de una marca, en este caso pública (CNE); ejemplos similares son los programas que radio Cooperativa realiza con el Ministerio de Planificación ("Chile Crece Contigo"), con el INP ("Tus Años Cuentan") o con Movistar ("Tecnociencia"). La forma ideal de avanzar en un programa de este tipo es crear primero un espacio especializado semanal en una radio, y, una vez consolidado, agregar un programa de televisión. Puede postularse a financiamiento complementario a través del Fondo de Fomento a la Calidad del Consejo Nacional de Televisión, que financia el desarrollo de contenidos "que ayuden a aumentar el nivel de información, educación y formación del público y/o su mejor comprensión del mundo natural o social".

EJE ESTRATEGICO 3: LAS BRECHAS DE PERCEPCIÓN

1. Identificando las brechas principales

Los estudios reseñados en la primera parte de este informe indican que existen a lo menos tres tipos de brechas configuradas por la distancia entre las percepciones de los diversos públicos y la evidencia empírica. Ellas son:

1. Características atribuidas a la energía nuclear y otras formas de generación energética.
2. Percepción de ausencia (o fragilidad) en Chile de capital humano competente para trabajar con tecnologías como la nuclear.
3. Percepción de ausencia en Chile de capacidades institucionales para emprender un programa nuclear.

La primera de estas brechas se relaciona directamente con la información con que cuentan las personas. Así, tanto en líderes de opinión como en segmentos de mayor nivel de educación, la descripción de los atributos de los diversos modos de producción energética es mucho más ajustada a la realidad factual que las de otros segmentos. En los grupos menos informados se percibe una confusión respecto de las características factuales que probablemente tiene muy diversos orígenes, pero que en general parece derivada de productos de la cultura popular.

Las dos brechas siguientes son de naturaleza enteramente diferente a la anterior, y pueden ser reunidas en un mismo concepto, puesto que apuntan a las capacidades del país, principalmente humanas, para hacer frente a tecnologías de alta complejidad. En este caso el juicio deriva tanto de la información como de una actitud de escepticismo más general.

2. Características de las formas de producción energética

La encuesta masiva incluida en esta consultoría muestra que una mayoría de los chilenos identifica correctamente identifican a la energía solar como aquella que tiene menores impactos sobre el medio ambiente (48% cree que es “la más limpia”). Otro importante 32,4% menciona a la energía eólica.

Tampoco existe confusión cuando se consulta por la energía “menos limpia”: un 66,2% menciona el carbón. Del mismo modo, una amplia mayoría (59%) identifica a la energía nuclear como “la más peligrosa”, en línea con las percepciones medidas internacionalmente.

Sin embargo, estas nociones, en apariencia correctas, no parecen apoyadas en conocimientos formales, sino más bien en el sentido común y/o las asociaciones

simbólicas. Así, una mayoría de los consultados (33,7%) identifica a la energía solar como “la más barata”, cuando es –al cálculo de costos actual- la más cara. Otra mayoría (37,4%) describe a la hidroelectricidad como la forma de generación que mejor “asegura el suministro”, a pesar de los episodios relativamente recientes de restricción en el suministro por razones de sequía o de baja pluviometría. De igual modo, un grupo importante (31%) considera que el carbón es la fuente que en menor medida permite asegurar el suministro eléctrico, cuando fue incorporado a la matriz precisamente por la predictibilidad del abastecimiento.

En las menciones de carácter espontáneo, la energía nuclear aparece fuertemente asociada con ideas abstractas como “peligro” y “destrucción” y, en segundo orden, con “contaminación por desechos”, “accidentes” y “uso bélico”. Al forzar una racionalización, solicitando que los encuestados asignen prioridades dentro de un conjunto de efectos probables de la construcción de una planta nuclear, se imponen los de orden negativo –daño al medio ambiente; mayor riesgo de accidentes; probable uso bélico-, pero luego aparecen, con niveles de acuerdo en torno al 50%, la posibilidad de “dejar depender de otros países”, “contar con la energía necesaria para ser un país desarrollado”, y “dejar de usar otras energías más contaminantes”.

Esto es plenamente consistente con la disposición a revisar su posición que expresa un alto porcentaje de quienes se declaran en contra del desarrollo de una planta nuclear. Un 74% de quienes se manifiestan contrarios admite que podría cambiar de opinión si se demuestra que la núcleoelectricidad a) es más limpia y permite reemplazar el carbón, y b) asegura el suministro.

Así, frente a las núcleoelectricidad, una mayoría de las personas se muestra tensionada por dos fuerzas. De un lado, la preocupación por los riesgos, que de ningún modo puede considerarse solamente emocional; del otro, la ansiedad por hallar una solución al doble problema de la energía -suministro sin contaminación-, aun si el precio es la energía nuclear.

La primera dimensión –el temor derivado de los riesgos- no es en absoluto privativa de los ciudadanos chilenos. Aun con las bajísimas tasas de accidentabilidad exhibidas por las plantas nucleares en su historia, cuadros de temor similares se han presentado en países que han reimpulsado sus programas nucleares.

3. Las capacidades de Chile

La encuesta masiva, los *focus groups* y las entrevistas a líderes de opinión coinciden con nitidez en la percepción de que Chile carece de las capacidades profesionales e institucionales para abordar un programa nuclear.

En la encuesta, un 68% considera que “Chile no está preparado”. Sin embargo, entre quienes se declaran favorables a la construcción de una planta

nucleoeléctrica, un 59% cree que Chile sí lo está. A la inversa, quienes se muestran por ahora contrarios, sólo un 18% expresa confianza en la capacidad del país.

Las principales debilidades percibidas radican, para los públicos masivos, en la falta de capacidad de orden técnico y en la carencia de instituciones adecuadas. En forma más sugerente, en los estudios focales surgió una desconfianza más amplia hacia la capacidad del Estado (con una vinculación espontánea con el caso del Transantiago), y también un cuestionamiento directo a la cultura productiva chilena ("la manera de hacer las cosas") y la sospecha de que el afán de lucro podría debilitar los resguardos necesarios.

Entre los líderes de opinión, y aún integrando a los abiertos partidarios de un programa nucleoeléctrico, la desconfianza se funda en la ausencia de capital humano avanzado, que pueda ofrecer garantías de excelencia técnica y seguridad, y en la falta de una institucionalidad "a prueba de fallas".

La percepción de falta de capacidades incluye, evidentemente, la capacidad de control, lo que significa que esta percepción incrementa los sentimientos de riesgo y temor. Esto es nítido en los estudios focales, donde la falta de preparación del país se asocia con la incertidumbre y la impredictibilidad. En la medida en que no existen garantías de que un programa nucleoeléctrico sería correctamente gestionado, el riesgo de accidentes o desastres se vuelve más próximo.

Dado que, como se describió en la primera parte de este informe, la energía nuclear es percibida en muchos casos como una fuerza *per se* difícil de manejar, e incontrolable en situación de crisis, las capacidades exigidas son naturalmente muy superiores a los normales. En otras palabras, las instituciones y los profesionales chilenos tendrían que proporcionar seguridades fuera de lo ordinario para que un programa nucleoeléctrico resultase aceptable.

4. Acciones de comunicación

El cuadro descrito suscita la necesidad de dos tipos de abordajes desde la perspectiva de las comunicaciones. El caso de los vacíos informativos acerca de las características de las formas de producción de energía, que ha estado presente en diversas partes de este informe, debe ser enfrentado, por criterio de eficiencia, mediante el conjunto de acciones de comunicación descritas en el Capítulo II, Eje Estratégico Nº 2. En síntesis:

1. Campaña masiva sobre matriz diversificada (Grupo de Acciones 1).
2. Sitio web sobre matriz diversificada (Grupo de Acciones 2).
3. Abordar los planes de enseñanza básica y media (Grupo de Acciones 3).
4. Seminarios sobre núcleoelectricidad (Grupo de Acciones 4, en particular letras a) y e)).
5. Taller de actualización para periodistas (Grupo de Acciones 5, letra c)).

6. Desarrollo de contenidos en alianzas con medios de comunicación (Grupo de Acciones 5, letra d)).

Respecto de la existencia y el desarrollo de capacidades profesionales e institucionales, la distancia entre la percepción y la realidad no existe. Sin embargo, hay vacíos informativos complementarios –o colaterales- y, más especialmente, rasgos imputados a las capacidades del Estado que éste no puede dejar de abordar sin renunciar a la misión esencial de proveer de seguridad a sus ciudadanos. De ambas necesidades nacen las acciones siguientes:

Grupo de Acciones 1: Relevar las capacidades ya existentes

El objetivo es instalar en las percepciones ciudadanas la noción de que Chile cuenta con especialistas de alto nivel que trabajan en forma interdisciplinaria y en permanente contacto con los principales centros científicos del mundo. Se debe tener presente que, según la encuesta masiva, un 74% consideraría muy importante la opinión de científicos e ingenieros a la hora de decidir respecto del desarrollo de un programa nucleoeléctrico. Estrictamente hablando, parte de la comunidad científica chilena ya cumplió una función de "certificación", tanto en el Grupo de Trabajo Núcleo-Eléctrico como en el Grupo Consultivo Nuclear. Terminadas estas tareas, parece conveniente darles mayor visibilidad de la que han tenido. Para ello se propone:

a. Generar un programa de entrevistas de miembros del Grupo Consultivo con medios de comunicación masivos.
b. Generar un programa de columnas de opinión de miembros el Grupo Consultivo para prensa escrita.
c. Identificar interlocutores válidos ajenos al Grupo Consultivo para que comenten su trabajo en medios de prensa escrita.
d. Organizar, en conjunto con la Academia Chilena de Ciencias, un grupo de conferencias públicas dictadas por miembros del Grupo Consultivo, con foco en las tareas realizadas.

Grupo de Acciones 2: El Estado chileno no improvisa

El objetivo aquí es entregar dos mensajes de alta importancia: 1) Chile no está estudiando "por su cuenta" ni "a su manera" la factibilidad de incorporar generación nucleoeléctrica en su matriz energética, sino bajo los más exigentes estándares internacionales de seguridad y protección ambiental; y 2) Chile no desarrollará un programa de generación nucleoeléctrica sin tener las capacidades profesionales e institucionales, pero éstas deben ser desarrolladas con mucha anticipación. Con estos propósitos, es importante enfatizar la relación con la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) y destacar los convenios de cooperación internacionales. Para esto:

a. Elaborar un documento (*brief*) respecto de la historia de la relación de Chile con la AIEA y del papel de asesoría que ella ha cumplido en el proceso reciente, para ser distribuido a los periodistas y eventualmente usado como insumo en columnas de opinión. Especial relieve debe darse a las funciones de verificación, seguridad y desarrollo científico-tecnológico encomendadas por la ONU a la AIEA.
b. Programas entrevistas y declaraciones de los miembros de la AIEA cada vez que visiten Chile.
c. Informar a los medios de comunicación acerca de las actividades de los miembros de la CNE que sostienen reuniones de trabajo en la sede de la AIEA (formas posibles: delegaciones de prensa; entrevistas; declaraciones y comunicados conjuntos; *photo-opportunities* y otras).
d. Divulgación, hacia los medios de comunicación y también otros *stake-holders* en la comunidad académica y la sociedad civil, de los comentarios y reportes que efectúa la AIEA respecto del proceso de evaluación de la opción nucleoeléctrica por parte del Estado de Chile.
e. Elaborar un documento (*brief*) respecto de los convenios de cooperación internacional que Chile ha suscrito en materia nuclear, para ser distribuido a los periodistas y eventualmente usado como insumo en columnas de opinión.
f. Elaborar un documento (*brief*) respecto de las peticiones de asistencia formuladas a la AIEA por otros países[8], y de las naciones que, como Chile, está estudiando la opción nucleoeléctrica sin tener aún una decisión final.
g. Elaborar un set informativo respecto de la cumbre sobre energía nuclear convocada por el Presidente Barack Obama para abril de 2010, con invitaciones al G-20 y a otros 20 países, incluido Chile.

Grupo de Acciones 3: Capacidades humanas en desarrollo

El problema de la ausencia de capacidades profesionales es más real de lo que parece, y no afecta sólo a Chile: es un hecho que los operadores de la industria nuclear están buscando ansiosamente en todo el mundo reclutar profesionales nuevos desde las universidades. Por tanto, el objetivo de estas acciones de comunicación no es refutar las ideas instaladas, sino afirmar que el Estado chileno está dispuesto a generar las capacidades necesarias y que comenzará a actuar prontamente en ello. Para ello se propone:

a. Elaborar un catastro de profesionales que se encuentran estudiando diversos aspectos de la energía nuclear en el exterior, para poner a disposición de los medios de comunicación.
b. Obtener entrevistas y/o columnas de opinión de parte de personas que estén en proceso de especialización o perfeccionamiento en el exterior, para ser publicadas en prensa escrita.

[88] IAEA, —International Status and Prospects of Nuclear Power||, 2008.

c. Instalar el desarrollo de capacidades profesionales en materia de energía nuclear dentro de los objetivos de Becas Chile.

ESTUDIO REQUERIMIENTOS DE ADECUACIONES DEL MARCO LEGAL ANTE LA EVENTUAL INCORPORACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR DE POTENCIA

INFORME FINAL
31 DE MARZO DE 2010

Consorcio
Fundación Facultad de Derecho,
Universidad de Chile /
Barros & Errázuriz Abogados

Preparado para el Ministerio de Energía y
la Comisión Nacional de Energía, Gobierno de Chile.

Licitación 610-75-LP09

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE DERECHO

Barros & Errázuriz
ABOGADOS

ABREVIATURAS Y SIGLAS MÁS UTILIZADAS

AECL	Atomic Energy of Canada Limited (Canadá)
ANDRA	Agencia Nacional de Desechos Radioactivo (Francia)
ANI	American Nuclear Insurers (USA)
ARN	Autoridad Regulatoria Nuclear (Argentina)
ASN	Autorité de Sureté Nucléaire (Francia)
BfS	Federal Office for Radiation Protection (Alemania)
CCHEN	Comisión Chilena de Energía Nuclear
CCN	Ciclo de combustible nuclear
CDEC	Centro de Despacho Económico de Carga
CEA	Comisión de Energía Atómica (Francia)
CGR	Contraloría General de la República
CNE	Comisión Nacional de Energía
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica (Argentina)
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear (Brasil)
CNEN	Comitato Nazionale per l'Energía Nucleare (Italia)
CNSC	Canadian Nuclear Safety Commission (Canadá)
CONAMA	Comision Nacional del Medio Ambiente
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
COVRA	Central Organization for Radioactive Waste
CPR	Constitución Política de la República
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear (España)
DEG	Derechos Especiales de Giro
DOE	Departamento de Energía (USA)
EDF	Électricité de France (Francia)
ENAP	Empresa Nacional de Petróleos
ENRESA	Empresa Nacional de Residuos (España)
ENSI	Ley Federal de Inspección de Seguridad Nuclear (Suiza)
EPA	Agencia de Protección Ambiental (USA)
EPL	Empresas públicas creadas por ley
EPZ	Electricity Generating Company for the Southern Netherlands (Holanda)
EURATOM	Comunidad Europea de la Energía Atómica
FERC	Federal Energy Regulatory Commission (USA)
FOE	Oficina Federal de Energía (Suiza)
GEMA	Gas and Electricity Markets Authority (UK)
HSC	Health and Safety Commission (UK)
HSE	Health and Safety Executive (UK)
I+D	Innovación y Desarrollo
ICRP	International Commission on Radiological Protection
INB	Industrias Nucleares Brasileiras SA (Brasil)
INES	Escala Internacional de Eventos Nucleares

IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (Francia)
KEPCO	Korea Electric Power Company (Korea)
KHNP	Korea Hydro & Nuclear Power Co (Korea)
LOCBGAE del	Ley Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración Estado
LSN	Ley de Seguridad Nuclear
MKT	Ministerio de Comercio e Industria (Finlandes)
MOA	Memorandum of Agreement (USA)
NAGRA	Cooperativa Nacional para la Eliminación de Residuos Radiactivos (Suiza)
NDA	Nuclear Decommissioning Authority (UK)
NEA	Nuclear Energy Agency
NETEC	Nuclear Environment Technology Institute (Korea)
NII	Nuclear Installations Inspectorate (UK)
NOK	Nordostschweizerische Kraftwerke AG (Suiza)
NRC	Nuclear Regulatory Commission (USA)
OCDE	Organisation for Economic Co-operation and Development
OFGEM	Office of Gas and Electricity Markets (UK)
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
ONDRAF	Organización nacional para la gestión de las residuos radioactivos y material Fisionable (Bélgica)
ORI	Organismos Reguladores Independientes
PGRR	Plan General de Residuos Radiactivos (España)
PNGMDR	Plan Nacional para la gestión de materiales y residuos radioactivos (Francia)
PPP	Public-private partnership
PSOE	Partido Socialista Obrero Español
PWR	Reactores de Agua Presurizada
RAWRA	Radioactive Waste Repository Authority (Rep. Checa)
SFOE	Oficina Federal Suiza de Energía y Residuos Radioactivos (Suiza)
STUK	Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (Finlandés)
SÚJB	State Office for Nuclear Safety (Rep. Checa)
TNP	Tratado sobre la no proliferación de armas nucleares
UKSO	Oficina de Salvaguardas del Reino Unido (UK)
USA	Estados Unidos de Norteamérica
VTT	Centro de Investigación Técnica (Finlandés)
WNA	World Nuclear Association
XNP	Junta administrativa de control de exportaciones y no proliferación (UK)

I. INTRODUCCIÓN

En noviembre de 2009, y tras un proceso de adjudicación previa propuesta pública, La Comisión Nacional de Energía (CNE) encomendó al Consorcio "Fundación Facultad de Derecho, Universidad de Chile y Barros & Errázuriz Abogados" la realización del Estudio *Requerimientos de Adecuaciones del Marco Legal ante la Eventual incorporación de la Energía Nuclear de Potencia*.

En el equipo del consorcio participaron académicos e integrantes del Centro de Derecho Ambiental, Departamento de Derecho Privado y del Centro de Regulación y Competencia (RegCom) de la Facultad de Derecho de la Universidad de Chile, así como abogados de Barros & Errazuriz Abogados. El equipo fue el siguiente:

Nombre	Cargo	Sección
Francisco Agüero V.	Jefe de Proyecto y Responsable de Tarea	II, V
Santiago Montt O.	Responsable de Tarea	II
Pilar Moraga S.	Responsable de Tarea	VII
Valentina Durán M.	Responsable de Tarea	VI
Mauricio Tapia R.	Responsable de Tarea	III, VIII
Gonzalo Cubillos P.	Responsable de Tarea	VII, IX
Fernando Molina M.	Responsable de Tarea	V, VI
David Cademartori G.	Responsable de Tarea	IV
Jorge Aranda	Asesor	VI
Sara Moreno	Asesor	III, VIII
José Adolfo Moreno	Asesor	V
Manuel Matta A.	Asesor	V
Daniella Ramírez S.	Asistente	VI
Daniel Garcés	Asistente	VII
Doris Sepúlveda	Asistente	VI
Paulina Pulido	Asistente	III, VIII
José Luis Corvalán	Asistente	V, VI
Vicente Manriquez G.	Asistente	V, IX
Daniel López L.	Asistente	II
Ana Álvarez Oñate	Asistente	IV, V
Pablo Hamilton	Asistente	II, V
Francisco Grob	Asistente	II, V
Carolina Riquelme	Asistente	VII
Sebastián Martínez	Asistente	VII
Loreto Paredes	Asistente	III, VIII

Agradecemos el trabajo de secretariado de Cecilia Rojas y Paulina Allende, así como la colaboración de Roberto Campos en aspectos bibliográficos y la asistencia de Elías Astudillo y Tomás Kreft, en la edición final.

Asimismo, nuestros agradecimientos por sus comentarios a Claudio Huepe y Carolina Hernández (Ministerio de Energía), Marcia Ríos (Comisión Nacional de Energía) y Mauricio Lichtemberg (Comisión Chilena de Energía Nuclear).

El alcance general del Estudio está dado por el Contrato y las Bases de Licitación, que establecen que, de acuerdo a la información entregada por la CNE, el objetivo de la presente licitación es disponer de un análisis jurídico destinado a identificar y analizar los aspectos normativos esenciales que sea necesario adecuar para contar con un marco normativo que permita la instalación de un programa nuclear de potencia en Chile, cuyos objetivos específicos son los siguientes:

> *"1.1.1. Contar con un análisis jurídico que sintetice la forma de abordar los puntos críticos que el eventual ingreso de la energía nuclear implicaría en el contexto de la legislación chilena vigente, identificando para ello, las alternativas existentes en el derecho comparado.*
>
> *A este efecto, los aspectos críticos identificados a la fecha son los siguientes:*
>
> *a. Régimen de propiedad de un proyecto nuclear, y de los servicios nucleares asociados durante el ciclo de vida nuclear.*
> *b. Responsabilidades estatales y privadas durante el ciclo de vida nuclear.*
> *c. Desarrollo y trasposición de Convenios Internacionales suscritos y necesarios de suscribir.*
> *d. Regulación y Fiscalización de proyectos nucleares durante su ciclo de vida, incluyendo la atribución de competencias a organismos o instituciones para dichas tareas.*
> *e. Proceso de evaluación, aprobación y licenciamiento de inversiones energéticas.*
> *f. Incorporación y gestión del manejo de desechos, desmantelamiento y repositorio y su incorporación en el marco legal eléctrico como componente tarifario.*
> *g. Responsabilidad por daños: seguros de responsabilidad civil contractual y extracontractual.*
> *h. Potestad del ejecutivo respecto a la decisión de la incorporación de la energía nuclear.*

1.1.2. Identificación de los actuales vacíos legales o aspectos contradictorios en la legislación nacional aplicable a proyectos nucleares, a la luz del análisis efectuado en 1.1.1.

1.1.3. Desarrollo de una Propuesta Normativa que resuma los aspectos que deben abordarse en la legislación nacional para el eventual desarrollo de un proyecto nuclear durante su ciclo de vida.

1.1.4. Revisión del estado de la Ley de Seguridad Nuclear vigente a la luz de las necesidades de modernización del sector energía y ante un eventual proyecto nuclear eléctrico, contemplando una propuesta de modificación.

El estudio debe contener las siguientes actividades mínimas:

a. Efectuar un análisis de derecho comparado que aborde comparativamente la forma en que la legislación extrajera resuelve, en caso de hacerlo, los aspectos críticos señalados en 1.1.1 anterior.

En particular, respecto de los aspectos críticos ya enunciados, se espera que:

1.1.1.a. Acerca del régimen de propiedad de un proyecto nuclear, y de los servicios nucleares durante el ciclo de vida nuclear.
• Analizar las implicancias de los distintos regímenes de propiedad, tanto de Derecho público como privado, y su viabilidad jurídica ante el Derecho chileno.

1.1.1.b. Acerca de las responsabilidades Estatales y Privadas durante el ciclo de vida nuclear:
• Analizar los requerimientos de garantías estatales y/o seguros privados relacionados con la operación de una planta núcleo-eléctrica, bajo los distintos estatutos de propiedad y gestión revisados en el punto anterior.
• Analizar los distintos aspectos de la responsabilidad del propietario- explotador y de los restantes actores que intervienen en el ciclo de combustible nuclear, ante accidentes o situaciones de emergencia en las fases construcción, operación y desmantelamiento de la planta.

1.1.1.c. Acerca de la Implementación de los Convenios Internacionales suscritos y necesarios de suscribir
• Analizar las implicancias en el marco jurídico nacional para su implementación plena.

1.1.1.d. Acerca de la Regulación y Fiscalización de proyectos nucleares durante su ciclo de vida, incluyendo la atribución de competencias a organismos o instituciones para dichas tareas.

- *Analizar las relaciones administrativas de la institución reguladora nuclear con la institución reguladora eléctrica, bajo diversos escenarios de autonomía e independencia.*
- *Analizar las implicancias que tendría la nueva regulación nuclear en los marcos jurídicos vigentes de las instituciones u organismos del Estado que tengan competencias directas o relacionadas con la construcción y/o operación de una planta de generación eléctrica.*
- *Analizar el diseño institucional y las potestades que debe tener la institución reguladora nuclear vis-a-vis los regulados, a fin de que la misma pueda cumplir con sus finalidades en forma efectiva, eficiente y responsiva.1.1.1.e. Acerca del Proceso de Evaluación, Aprobación y Licenciamiento de Inversiones Energéticas.*

Analizar alternativas para un proceso de licenciamiento de una planta nuclear.

1.1.1.f. Acerca del marco legal eléctrico en la incorporación del manejo de desechos, desmantelamiento y repositorio en las tarifas eléctricas

- *Analizar opciones para incorporar y gestionar el financiamiento necesario para el manejo de desechos, repositorios, y desmantelamiento de la planta.*

1.1.1.g. Acerca de la responsabilidad por daños: seguros de responsabilidad civil contractual y extracontractual

- *Analizar la viabilidad actual y futura del mercado en cuanto a la oferta de seguros de responsabilidad civil.*

1.1.1.h. Acerca de la Potestad del Ejecutivo para la toma de decisión de la incorporación de la energía nuclear.

- *Analizar la potestad del Ejecutivo, conforme al marco legal vigente, para decidir la incorporación de una planta nuclear en la matriz eléctrica.*

1.1.2. Como consecuencia de la revisión del derecho comparado y su análisis, se debe determinar los vacíos legales detectados o potenciales contradicciones en el marco jurídico vigente.

1.1.3. En base a las conclusiones resultantes de las actividades descritas en 1.1.1 y 1.1.2, el Consorcio deberá detallar qué aspectos de la legislación nacional deben ser desarrollados y/o modificados para contar con un marco jurídico regulatorio para el desarrollo de un proyecto nuclear durante su ciclo de vida

Para dicho fin, se debe identificar los títulos, forma y técnica de intervención. Respecto de los títulos de intervención se deberá precisar si la regulación será por la vía constitucional, legal o reglamentaria. Respecto de la forma, si será mediante técnicas sancionatorias, de fomento o contractuales.

Respecto a los niveles normativos de intervención, se deberá esbozar la factibilidad, forma de implementación y tiempos estimativos para ello.

1.1.4. En lo referente a la Ley de Seguridad Nuclear:

1.1.4.1. El Consultor debe revisar la necesidad de actualización y modificación de la ley de Seguridad Nuclear considerando los siguientes antecedentes que se adjuntan a las bases administrativas. A saber:

Ley N° 18.302: Ley de Seguridad Nuclear
OIEA Manual de Derecho Nuclear
Colección de Normas de Seguridad del OIEA: "Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte" GS-R-1

1.1.4.2. Generar una propuesta normativa que se adecue a las necesidades detectadas en el análisis general.

II. RÉGIMEN DE PROPIEDAD DURANTE EL CICLO DE DESARROLLO DE UN PROGRAMA NUCLEAR DE POTENCIA

Introducción

La primera parte de este informe tiene por objeto analizar los distintos regímenes de propiedad que pueden ser adoptados en caso de implementarse en nuestro país un programa de generación núcleo-eléctrica. El análisis se centrará en los aspectos teórico-jurídicos de los distintos modelos, su utilización en el Derecho comparado, el estado actual de cada uno de ellos en el ordenamiento jurídico vigente y las implicancias legales de su total y plena adopción en Chile.

En términos generales, existen cuatro grandes modelos de propiedad y gestión de infraestructura, incluyendo la generación núcleo-eléctrica. El modelo de naturaleza más "estatal" es el establecimiento de un órgano o empresa pública. En el otro extremo, el modelo más "privado" lo constituye la propiedad y gestión privada sujeta a regulación. Dos modelos intermedios son el de *joint-venture* público-privado (también conocido, en España como "sociedades de economía mixta", y en el mundo angloamericano como "joint-venture PPP")[1] y el de participación público-privada (PPP, *Public Private-Partnership* tipo concesiones). Ordenándolos de más "privado" a más "estatal", los cuatro modelos son los siguientes:

Modelo	**Definición**
Firmas privadas reguladas	Propiedad privada con alta intervención regulatoria
Concesiones-PPP	Contratos/concesiones de larga duración en virtud de los cuales el sector privado provee al Estado el diseño, construcción, financiamiento y/o operación de una determinada infraestructura
Joint-venture Público-privados	Sociedades en las cuales los sectores públicos y privados unen sus activos y sus capacidades financieras y experiencia bajo una administración

[1] Aunque conforme a las definiciones más amplias, los *joint-ventures* público-privados también son considerados como una de las formas posibles de PPP, aquí hemos preferido mantener el concepto restringido a lo que algunos denominan "*concession PPP*". Al respecto ver Mirjam Bult-Spiering & Geert Dewulf, *Strategic Issues in Public–Private Partnerships. An international perspective*, Oxford, Blackwell Publishing, 2006.

	común[2]
Órgano o empresa pública	El Estado es el propietario de las instalaciones y es quien gestiona las mismas, sin intervención privada

Determinar cuál de los modelos anteriores debe utilizarse para el desarrollo de proyectos de energía nuclear en Chile, y para qué fase o etapa de los mismos, es una tarea extremadamente compleja. La decisión de cuán público o privado debe ser el modelo que en definitiva se adopte para cada fase depende de una amplia gama de consideraciones políticas, estratégicas y técnicas, todas las cuales exceden los marcos de este informe.

En todo caso, cabe notar que la reciente preferencia por los PPP por sobre la gestión estatal en materia de infraestructura constituye una tendencia a nivel mundial, cuyo fundamento se encuentra en el concepto de *value for Money.*[3] La asociación público-privada permite al gobierno definir ciertos *outputs* y entregar su gestión y producción a los privados, transfiriendo a estos últimos algunos de los riesgos involucrados en el proyecto —precisamente aquellos que pueden ser gestionados óptimamente por el sector privado—, obteniendo así un mejor *value for money* que la propiedad y gestión pública tradicional.

Los modelos o soluciones legales a adoptarse pueden o no ser las mismas en la generación eléctrica y en las distintas etapas del ciclo de combustible nuclear (CCN). A este respecto, cabe aclarar desde ya que el CCN se encuentra compuesto por las diversas etapas o fases por las que atraviesa el combustible nuclear (típicamente torio o uranio) a lo largo de todo el desarrollo de un programa de generación núcleo-eléctrica, distinguiéndose las etapas de acuerdo a si dicho combustible nuclear ya ha sido utilizado o no. La etapa previa o *front-end* corresponde a aquella compuesta por todos aquellos pasos o procesos a través de los cuales el combustible nuclear es producido y administrado de forma previa a su utilización en un reactor nuclear.[4]

La etapa posterior del ciclo de vida del combustible nuclear o *back-end* es aquella que dice relación con la cadena de procesos o pasos a través de los cuales el combustible nuclear es administrado con posterioridad a su uso en un reactor nuclear. Dicha etapa comienza una vez que el combustible gastado es retirado del reactor en donde es

---

[2] Adaptado de Akintola Akintoye et al (eds.), *Public-Private Partnerships. Managing risks and opportunities*, Oxford, Blackwell Science, 2003, p. 1.

[3] De acuerdo a E.R. Yescombe, el concepto de *value for money* está dado por la combinación de riesgos transferidos, los costos de toda la vida del proyecto y los servicios proveídos por la infraestructura, esto como base de para decidir qué modelo ofrece el mejor valor para la autoridad pública. En: Public-Private Parterships. Principles of Policy and Finance, Oxford, Elsevier, 2007, p. 349.

[4] Comisión Nacional de Energía, *Estudio de Opciones de Ciclo de Combustible Nuclear*, Santiago, CNE, pp. 105 a 107.

utilizado y comprende los procesos de almacenamiento, reprocesamiento, desmantelamiento de una planta nuclear y gestión de los desechos nucleares, incluida su disposición final y su transporte.[5]

A continuación, se analiza el modelo de propiedad y gestión estatal, incluyendo los *joint-ventures* público-privados (Sección 1), el modelo de propiedad y gestión privada (Sección 2) y el modelo PPP en su variedad "concesiones" (Sección 3). En cada una de estas secciones se presenta, el marco teórico, la utilización del modelo en el Derecho comparado, su estado actual en el Derecho chileno y una revisión de la viabilidad de su incorporación plena a nuestro sistema legal. En todas estas secciones se estudia también la aplicación de los respectivos modelos al *front-end* del CCN (desde la explotación minera hasta la producción de energía nuclear), al *back-end* del CCN (gestión de desechos y repositorios) y a la generación propiamente tal. Enseguida, se estudian las normas relativas a quiebras de empresas de generación eléctrica (Sección 4), para finalmente presentar las brechas, vacíos y contradicciones que se han detectado en el sistema legal vigente para cada uno de los modelos y la normativa de quiebras (Sección 5).

1. La generación núcleo-eléctrica por parte del Estado o por joint-ventures público-privados

1.1. Modelo Teórico

Bajo este modelo se analizan aquellos casos en que el Estado participa en la propiedad y gestión del ciclo de desarrollo de un plan de generación núcleo-eléctrica, ya sea como propietario absoluto de la actividad misma o bien poseyendo cierto grado de participación (e.g., *joint-venture* público-privado).

Aunque el Estado puede realizar directamente las actividades propias de la generación núcleo-eléctrica, esto es, vía un órgano público que forma parte de la Administración Central, lo normal es que lo haga a través de una empresa estatal. De acuerdo a una concepción amplia, la empresa pública o estatal es aquella que tiene por finalidad desarrollar actividades administrativas de prestación de servicios en el campo industrial y comercial.[6]

Ahora bien, las empresas públicas han estado en retirada en los últimos 30 años en el mundo occidental. Por regla general, el Estado ha abandonado la prestación directa de bienes y servicios, concentrándose en la regulación de la actividad de los privados. Pasamos de un modelo de Estado-prestador a uno de Estado-regulador, cambio que se

[5] *Ibídem*
[6] Garrido Valenzuela Raúl, *Las empresas estatales*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 1966, pp. 45 y 46.

dio, en los hechos, acompañado del correspondiente ciclo de privatizaciones de empresa públicas.

Desde una perspectiva general —siempre sujeta a excepciones y matizaciones—, existen dificultades institucionales que obstaculizan el desarrollo eficiente de actividades económicas por parte del Estado. Entre los problemas que tradicionalmente se mencionan cabe destacar los siguientes:[7]

- Problemas de relaciones de "agencia" (los llamados *principal-agent problems*) e ineficiencia organizacional, en virtud de los cuales, el Estado tiende a sacrificar estándares de eficiencia económica o de administración, a fin de conseguir objetivos sociales o resultados políticos ajenos a la maximización de utilidades de la actividad económica en cuestión.[8] / [9]

- Falta de incentivos, toda vez que al no existir una precisa definición de objetivos (e.g., maximización de utilidades), no se hace fácil emitir juicios de valor respecto de la adecuada gestión de una empresa publica, el grado de eficiencia obtenido y la valoración de sus resultados finales.

De todas maneras, por razones históricas, políticas y estratégicas, los Estados de prácticamente todos los países del mundo mantienen bajo su propiedad y gestión ciertas actividades económicas. Además, incluso en los países de tradición liberal, el Estado mantiene un rol económico subsidiario, conforme al cual asume la producción de aquellos bienes y servicios que el sector privado considera como no-rentables.

A este respecto, cabe notar que la creciente liberalización de los mercados de electricidad ha favorecido la generación de activos con costos de capital bajos y períodos de construcción cortos. Ahora bien, dicha experiencia en materia de atracción de capitales privados no es extrapolable sin más a proyectos núcleo-eléctricos, los que se caracterizan por tener altos costos hundidos, períodos de construcción largos y recuperación de las inversiones en un amplísimo horizonte de tiempo.

---

[7] Ariño Ortiz Gaspar, *Empresa pública, empresa privada, empresa de interés general*, Pamplona, Thomson-Aranzadi, 2007, pp. 151 y ss.

[8] Así, para el caso alemán, Klaus-Werner Shats señala que debido a la vinculación de las empresas publicas a objetivos políticos y sociales, sumada a la inexistencia de incentivos al aumento de productividad, propio de las empresas privadas, hacen difícil su correcta y eficiente gestión (citado en Ariño Ortiz, *ibídem*, pp. 82 y 83).

[9] De acuerdo a Ariño Ortiz una empresa pública tradicionalmente no cuenta con los instrumentos que garanticen la alineación de los objetivos de los ciudadanos y la administración (relación principal-agente), como es la posibilidad de instar por un cambio de administración. En: Ariño Ortiz, *ibídem*, pp. 95 y ss.

Por ende, si a dichas características sumamos la incertidumbre política y el riesgo de cambios en los marcos regulatorios, podría darse un escenario donde los actores privados no tengan interés en participar en la propiedad y gestión de un proyecto núcleo-eléctrico, justificándose la actuación estatal empresarial conforme al principio de subsidiariedad.[10] En efecto, de conformidad a este principio se justifica que un organismo estatal financie y realice la totalidad de las inversiones para las centrales nucleares de potencia e infraestructura adicional necesaria, y posteriormente se haga cargo de la operación de dichas centrales.

El modelo estatal tiene ventajas frente a los demás, entre las que se consideran las siguientes:[11]

- Acceso expedito a las fuentes de financiamiento, con tasas de interés de endeudamiento más bajas para la construcción de las centrales que las correspondientes para una empresa o consorcio privado, toda vez que dichos proyectos cuentan con el respaldo de garantías explícitas o implícitas del Estado.

- Un proyecto estatal tiene, usualmente, mayor aceptación pública que un programa nuclear privado o mixto, particularmente al momento de su puesta en marcha. En la población existen muchos temores relacionados con la energía nuclear, los cuales no siempre las empresas privadas son capaces de aminorar, aunque exista un marco regulatorio adecuado para el sector.

- Estandarización de la tecnología, toda vez que es una tendencia común que los monopolios estatales adopten tecnología estandarizada para el desarrollo de sus programas de generación núcleo-eléctrica, lo cual abarata los costos y, con el tiempo, tiende a mejorar la seguridad de las instalaciones.

La ventaja o la desventaja de impulsar un programa nuclear de potencia mediante un modelo de empresa estatal dependen no sólo del grado de aceptación nacional de la opción nuclear, sino también de la etapa en que el programa de generación núcleo-eléctrica se encuentre. Así, tal vez por razones históricas, es común encontrar en el plano internacional países que iniciaron y establecieron sus programas núcleo-eléctrico bajo un modelo estatal, y procedieron luego a su privatización total o parcial una vez que probadas las bases regulatorias y operativas del sistema.[12] Por ejemplo,

---

[10] Systep Ingeniería en Diseños, *Análisis y propuesta de regulación núcleo-eléctrica*, Santiago, 2010, pp. 58 y ss.

[11] Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants Limited, *Roles del Estado y del Sector Privado en la Generación Núcleo-eléctrica: Experiencia Internacional Aplicable a Chile*, Santiago, Chile, 2008, pp. 168 y ss.

[12] Ejemplos de esto lo representa el caso francés y el del Reino Unido.

en el Reino Unido se privatizó una parte importante de la capacidad instalada de generación energética nuclear a partir de 1996, reservándose el Estado la propiedad de aquellas instalaciones que, por su antigüedad o diseño, no fueron atractivas para los inversionistas privados.

1.2. Derecho comparado

En la mayoría de los países analizados,[13] los programas nucleares de potencia nacieron bajo un modelo de propiedad y gestión público. En ellos, el Estado financió los estudios, construcción, operación, explotación y desmantelamiento de las primeras centrales nucleares, sin perjuicio de su posterior privatización.[14]

Sin embargo, hoy no son muchos los ejemplos de países que mantienen una completa propiedad estatal de las instalaciones nucleares. Con la excepción de Argentina, Francia y el Reino Unido, pocos países conservan lo que Dieter Helm ha llamado la obsesión por la propiedad estatal de la industria energética. Por el contario, la propiedad mixta ha prevalecido en Europa conforme a complejas estructuras municipales, regionales y estatales.[15]

El caso más evidente del modelo estatal es **Argentina**, en donde todo el ciclo de desarrollo de su programa nuclear de potencia se encuentra reservado al Estado.[16] En efecto, tanto el desarrollo de las etapas del ciclo del combustible nuclear (con excepción de la fase de enriquecimiento de uranio, la cual es encargada a Estados Unidos), como el manejo y gestión de desechos nucleares, se encuentran radicados en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Por su parte, la propiedad y operación de las centrales nucleares argentinas corresponden a la compañía Nucleoeléctrica Argentina S.A., de propiedad del Estado argentino, a través de la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía (99%) y de la estatal Ente Binacional de Emprendimientos Energéticos S.A. (1%).[17]

---

[13] Como por ejemplo, Estados Unidos, Reino Unido, Francia y Brasil.

[14] Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants Limited, *op. cit.*

[15] Helm Dieter, *Energy, the State and the Market. British Energy Policy since 1979*, Londres, Oxford University Press, 2003, pp. 14

[16] Esta reserva al Estado se da en los hechos, y no está respaldada ni por la Constitución ni por la ley. De hecho, la Ley Nacional de la Actividad Nuclear señala expresamente en su Artículo 1° que "en materia nuclear el Estado Nacional fijará la política y ejercerá las funciones de investigación y desarrollo, regulación y fiscalización, a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica y de la Autoridad Regulatoria Nuclear". Dicha norma continúa agregando que "toda actividad nuclear de índole productiva y de investigación y desarrollo que pueda ser organizada comercialmente, será desarrollada tanto por el Estado Nacional como por el sector privado".

[17] Decreto N° 1540/94 de la Comisión Nacional de Energía Argentina, mediante el cual se crea el Ente Nacional Regulador Nuclear y se constituye la Sociedad Nucleoeléctrica Argentina S.A.

Por su parte y según ya se indicó, el **Reino Unido** mantiene un sistema mixto. Históricamente, la industria de generación núcleo-eléctrica fue pública, esto hasta su privatización parcial en 1996. Ahora bien, post-privatización el gobierno británico conservó la propiedad de todo el ciclo de generación del combustible y también de aquellas centrales que poseían reactores de tecnología Magnox (a través de la estatal British Nuclear Fuels Ltd).[18] En otras palabras, lo que se privatizó a través de British Energy —hoy de propiedad de Électricité de France en un 80% y de la británica Centrica en un 20%[19]— fue la operación de las restantes centrales en funcionamiento. Por su parte, el manejo de residuos nucleares fue privatizado recientemente; la entidad pública Nuclear Decommissioning Authority adjudicó el 2008 el manejo y gestión de los desechos nucleares a la empresa privada UK Nuclear Waste Management Consortium.[20]

El progresivo abandono del modelo estatal también puede observarse en el caso de Francia, paradigma del modelo de propiedad estatal en la generación núcleo-eléctrica. En la actualidad, el Estado francés es dueño del 84,66% de Électricité de France,[21] del 35,7% de GDF Suez S.A. y del 88% de AREVA[22] (encargada del suministro de combustible y reciclado del mismo). Cabe mencionar además que, a contar del año 2004, año en que Électricité de France fue transformada en sociedad anónima, se ha instalado la discusión dentro de la estatal francesa relativa a la necesidad y conveniencia de profundizar el proceso de privatización de la compañía, cosa que paulatinamente se ha desarrollado a partir del año 2005.

Como puede apreciarse, junto al modelo estatal "puro", se encuentra también en el Derecho comparado el modelo de *joint-venture* público-privado, conforme al cual el Estado admite la participación de capitales privados en la propiedad y operación de alguna de las etapas del ciclo de desarrollo de un plan de generación núcleo-eléctrica. Este modelo se construye sobre la base de compañías de economía mixta en cuya propiedad participa el Estado (por sí o a través de empresas públicas) y los privados, compartiendo ambos los riesgos asociados al negocio.[23] Existen dos variedades, una en la que el Estado tiene participación mayoritaria, y otra en la que los privados son los controladores.

---

[18] OECD, *Nuclear Legislation in OECD Countrie, Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. United Kingdom.* OECD, 2008, p. 34.
[19] Al respecto ver Helm Dieter, *op. cit.* pp. 186 y ss.
[20] World Nuclear Association, *Nuclear Power in the United Kingdom*, WNA, 2009, p. 14.
[21] EDF Group 2008 Annual Report, *Leading the energy change*, EDF, 2008, p. 12.
[22] Información disponible en http://bit.ly/c6zubr (fecha de revisión: 03/12/2009)
[23] Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants Limited, Op. Cit. pp. 168 y ss.

1.2.1. Participación mayoritaria del Estado

Una primera alternativa que se observa en los sistemas comparados es aquella en la que el Estado mantiene una participación mayoritaria en la sociedad que posee y opera la respectiva instalación nuclear. Finlandia, República Checa, Corea del Sur, Suecia, Holanda y Brasil son claros ejemplos de este modelo.

En Finlandia, la industria de generación núcleo-eléctrica es propiedad de Fortum Corporation.[24] Dicha empresa pública tiene por accionistas al Estado, con un 51%, y a TVO,[25] sociedad público-privada, con un 49%. El Estado, a su vez, es dueño de un 43% de la propiedad de TVO.[26] Cabe notar asimismo que Finlandia no cuenta con industria de desarrollo del combustible nuclear (lo adquiere desde Canadá, Australia y África, lo enriquece en Rusia y manufactura en Alemania, Suecia y España) y son las propias compañías generadoras las que poseen la responsabilidad de manejar los desechos que generan.

En la República Checa, las centrales nucleares son propiedad de un consorcio público-privado —la Czech Power Company[27]—, que es a su vez propiedad estatal en un 69,37% a través del Fondo Nacional de Propiedad dependiente del Ministerio de Finanzas.[28] Respecto al combustible, una vez extraído por la estatal *Dinamo*, éste es importado en su totalidad desde Rusia, Estados Unidos y Canadá.[29] Por su parte, la Czech Power Company no sólo se encarga de la construcción y operación de las centrales, sino que también del manejo y gestión de los desechos nucleares que generan sus centrales.

La situación es similar en Corea del Sur.[30] Las centrales nucleares son de propiedad y operadas por Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd.,[31] subsidiaria de Korea Electric Power Company (KEPCO), compañía de propiedad mayoritariamente estatal.[32] En cuanto al combustible nuclear, Corea del Sur importa la totalidad del mismo, y en lo que respecta al manejo y gestión de los desechos, éste es de responsabilidad de la estatal Korea Radioactive Waste Management Co. Ltd., aunque financiado por KEPCO

[24] Información disponible en http://bit.ly/ct5RRM (fecha de revisión: 3/12/2009).
[25] Información disponible en http://www.tvo.fi/www/page/261/ (fecha de revisión: 3/12/2009).
[26] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Finland*, WNA, 2009, p. 1.
[27] Nuclear Legislation in OECD Countries, *Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Czech Republic*, OECD, 2008, p. 17.
[28] Información disponible en http://bit.ly/bjkp7d (fecha de revisión: 3/12/2009).
[29] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Czech Republic*, WNA, 2009, p. 3
[30] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Korea*, WNA, 2009, pp. 1 y ss.
[31] Información disponible en http://www.khnp.co.kr/en/010100 (fecha de revisión 3/12/2009).
[32] Información disponible en http://bit.ly/aVkrxT, http://bit.ly/c3TLLIy http://bit.ly/duC6zv (fecha de revisión: 3/12/2009).

y operado en conjunto con el Nuclear Environment Technology Institute of Korea (NETEC).

Suecia, que importa la totalidad del combustible nuclear que utiliza, constituye otro caso distinto. En dicho país conviven el modelo de *joint-venture* público-privado con un sistema privado. En efecto, el Estado sueco es propietario, a través de la estatal Vattenfall AB, de dos centrales nucleares (con un 70% y 60% de propiedad, en cada una de ellas), siendo las diez plantas restantes de propiedad privada (algunas de propiedad de E.ON Kärnkraft Sverige AB y Fortum Oy, esta última con propiedad mayoritaria del gobierno finlandés).[33] En cuanto al manejo y gestión de desechos, éste se encuentra a cargo de la Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (Svensk Kärnbränslehantering AB), compañía cuyos accionistas son la estatal Vattenfall AB (36%) y las empresas privadas Forsmark (30%), OKG (22%) y E.ON Kärnkraft Sverige AB (12%).[34]

Por su parte, en Holanda la única central existente (Kernenergiecentrale Borssele) es de propiedad de la estatal Essent BV y de la compañía privada Delta Energie BV, quienes en conjunto forman la Electricity Generating Company for the Southern Netherlands (EPZ), con un 50% de participación cada una. EPZ opera esta única central en virtud de una licencia de duración indefinida concedida el 2006 por el gobierno holandés (no obstante, se estima que la planta estará en operación hasta el año 2033).[35] Los desechos nucleares son almacenados y gestionados por la Central Organization for Radioactive Waste (COVRA), de propiedad estatal, siendo su reprocesamiento realizado por la compañía estatal francesa AREVA.[36]

Para terminar, en Latinoamérica, Brasil controla todo el ciclo de vida de su respectivo programa nuclear de potencia. Las centrales nucleares (Angra 1 y 2) están estructuradas conforme a un modelo mixto con supremacía del Estado. Dichas plantas son de propiedad y operadas por Electronuclear, sociedad anónima controlada por la generadora de energía Electrobras, quien posee el 99,81% de su propiedad,[37] y en donde el gobierno federal brasileño posee el 53,9% de la propiedad.[38] Por su parte, el combustible es monopolio de la estatal Industrias Nucleares Brasileiras S.A. (INB) y la gestión y manejo de desechos radioactivos corresponde a la también estatal Comissão

[33] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Sweden*, WNA, 2009, pp. 1 y 2.
[34] Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants Limited, *op. cit.* p. 6
[35] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Netherlands*, WNA, 2009, pp. 1 y 2.
[36] Nuclear Legislation in OECD Countries, *Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Netherlands*, OECD, 1999, p. 23 y ss.
[37] Información disponible en http://bit.ly/cgNcjl (fecha de revisión: 3/12/2009)
[38] Información disponible en http://bit.ly/dlGYru (fecha de revisión: 3/12/2009)

Nacional de Energía Nuclear (CNEN).[39] Estas dos últimas actividades están reservadas al Estado en virtud de la propia Constitución.[40]

1.2.2. Participación minoritaria del Estado

La segunda alternativa que se observa en el Derecho Comparado es aquella conforme a la cual el Estado mantiene una participación minoritaria en la propiedad de la sociedad que posee y opera las instalaciones nucleares. En tal caso, la gestión de los proyectos, la adquisición de los sitios, la obtención de las licencias de construcción y operación son responsabilidad de firmas controladas por inversionistas privados, sin perjuicio que el Estado puede a veces establecer cláusulas que le otorguen poder de veto o requieran su concurso para adoptar determinadas decisiones. La participación minoritaria permite al Estado mantener un cierto grado de control sobre los proyectos, administración de las centrales y tratamiento de los desechos nucleares, contando con información interna de la empresa, adicional a la información documental obtenida a través de los canales regulatorios formales.[41]

Bajo este modelo, encontramos los casos de Suiza (que importa el combustible nuclear que utiliza desde las diversas alternativas que entrega el mercado internacional), y Suecia,[42] respecto de aquellas centrales nucleares que no son de propiedad de Estado y en los casos en que no existe un vínculo contractual especial entre éste y los privados.[43] Aparte de los casos suecos mencionados, en Suiza, la firma Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG, del grupo Alpiq Holding SA, es una empresa privada de transmisión, comercialización de energía y operación de plantas de generación núcleo-eléctrica con una pequeña participación estatal.[44] En cuanto a los desechos generados por la industria núcleo-eléctrica, éstos son manejados y gestionados por Zwilag, compañía de propiedad de las cuatro empresas operadoras de centrales nucleares del país (BKW FMB Beteiligungen AG, Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG, Kernkraftwerk Leibstadt AG y Axpo AG).[45] / [46]

---

[39] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Brazil*, WNA, 2009, p. 1.

[40] El Artículo 177 de la Constitución Política de la República Federativa de Brasil señala que constituyen monopolio de la Unión la investigación, la extracción, el enriquecimiento, el reprocesamiento, la industrialización y el comercio de metales y minerales nucleares y sus derivados (Disposición V). No obstante, en lo que respecta a la generación eléctrica, el Artículo 21 establece que "compete a la Unión" la explotación de los servicios e instalaciones de energía eléctrica, lo puede hacer de forma directa o mediante autorización, concesión o licencia otorgada a los privados (Disposición VII del Artículo 21).

[41] Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants Limited, *op. cit.*

[42] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Sweden*, *op. cit.*

[43] Ver sección 3.2.

[44] Información disponible en http://bit.ly/cNpvSw (fecha de revisión 3/12/2009)

[45] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Switzerland*, WNA, 2009, pp. 1- 5.

[46] Información disponible en http://bit.ly/c0jMAq (fecha de revisión 4/02/2010).

1.3. Contexto Nacional: el Artículo 19 N° 21 de la CPR

En Chile existe una amplia libertad o discreción para que el Congreso adopte el modelo de propiedad/gestión de la energía nuclear que estime apropiado. Asumiendo que en nuestro país habrá una reforma de rango legal, los límites están dados únicamente por la Constitución, la que no prohíbe ninguna de las alternativas que hemos mencionado previamente.

En lo que concierne al modelo estatal, la participación del Estado tanto en el diseño, financiamiento, construcción, propiedad y/o operación de las distintas etapas del ciclo de vida de un proyecto de generación núcleo-eléctrico, es una alternativa plenamente viable en nuestro ordenamiento, aunque sujeta a las limitaciones establecidas en la Constitución Política de la República (en adelante, CPR).

La actividad empresarial del Estado, ya sea en el ámbito energético o en otros, está sometida a restricciones adicionales al marco normativo general que rige las funciones públicas del Estado. En efecto, la CPR establece algunas restricciones específicas a este tipo de actividad estatal, las que integran lo que alguna parte de la doctrina chilena ha bautizado como el Orden Público Económico.[47]

Ahora bien, antes de analizar estas restricciones específicas, cabe determinar si la generación núcleo-eléctrica es o no una actividad empresarial. En lo que se refiere a la exploración y explotación de minerales nucleares y a la generación eléctrica propiamente tal, estimamos que sí lo son. En Chile, se trata de actividades que actualmente son de iniciativa privada y que funcionan conforme a las reglas del mercado.[48] Además, desde una perspectiva internacional, la operación de las plantas nucleares se realiza casi sin excepción conforme a esquemas de organización empresarial. Dadas estas características, es políticamente poco probable que las actividades en comento puedan definirse como servicio público no empresarial y es jurídicamente muy difícil que se estime que las mismas han dejado de tener un

[47] Autores más recientes no están de acuerdo con la idea de un Orden Público Económico de rango constitucional. Ver Ruiz-Tagle Vial Pablo, "Principios Constitucionales del Estado Empresario", *Revista de Derecho Público de la Facultad de Derecho de la Universidad de Chile*, 2000, vol. 62, p. 57.

[48] La Contraloría General de la República ha señalado en diversas oportunidades que la generación eléctrica es actividad empresarial; así, por ejemplo, en el Dictamen 24.288 de 2001, afirmó que "[l]a doctrina jurisprudencial de este organismo ha señalado que las Municipalidades no están en condición jurídica de desarrollar o participar en actividades de producción y distribución eléctrica, atendido lo que previene el artículo 11 de Ley N° 18.695, que no es sino una reiteración de lo establecido en el artículo 19 N° 21, inciso 2°, de la Ley Fundamental". Ver también, Dictámenes 24.288 de 2001 —que permite la participación municipal en generación y distribución en un esquema de cooperativa (sin fines de lucro) sólo ante la falta de iniciativa privada— y 3.181 de 2009 —que permite generación eléctrica con fines exclusivamente militares, no pudiendo el Estado desarrollar actividades empresariales con motivo de la construcción de dichas obras—.

contenido empresarial por el solo hecho de haber sido definidas como servicio público. En todo caso, nuestra doctrina y jurisprudencia no han elaborado una distinción material entre actividad empresarial y de servicio público que sirva de límite a la creación de nuevos servicios públicos por parte del Congreso.[49]

Por excepción, creemos que sí podría plantearse la gestión de desechos y repositorios en el *back-end* como bajo el régimen de servicio público y no como actividades empresariales del Estado. La novedad de dicha actividad en Chile —y con ello, la ausencia de los mercados e iniciativa privada respectiva—, el eventual monopolio estatal a establecerse en su respecto, su carácter esencial y la utilización formal y material del concepto de servicio público, permitirían concluir que no nos encontramos frente a actividades empresariales. En cualquier caso, desde una perspectiva de organización pública, es probable que esta actividad se desarrolle más apropiadamente bajo un esquema empresarial estatal que uno de servicio público.

Volviendo entonces a las restricciones en estudio —y asumiendo como *default* que todas las actividades que forman parte de la generación núcleo-eléctrica son empresariales—, el artículo 19 N° 21 de la CGR establece lo siguiente:

> ***Artículo 19****. La Constitución asegura a todas las personas:*
>
> *21°. El derecho a desarrollar cualquiera actividad económica que no sea contraria a la moral, al orden público o a la seguridad nacional, respetando las normas legales que la regulen.*
>
> *El Estado y sus organismos podrán desarrollar actividades empresariales o participar en ellas sólo si una ley de quórum calificado los autoriza. En tal caso, esas actividades estarán sometidas a la legislación común aplicable a los particulares, sin perjuicio de las excepciones que por motivos justificados establezca la ley, la que deberá ser, asimismo, de quórum calificado;*

[49] Por ejemplo, en nuestro país la prestación de servicios de salud se realiza simultáneamente como actividad empresarial y como servicio público (y este último se considera como no empresarial). En España, Ramón Parada Vásquez afirma que "resulta muy difícil establecer un criterio material que precise qué actividades son públicas por naturaleza y cuáles deben ser naturalmente confiadas a la iniciativa particular". En: Parada Vásquez Ramón, *Derecho Administrativo, Vol. I. Parte General*, Editorial Marcial Pons, Madrid, 1999, p. 475.

La mayor parte de la doctrina[50] y jurisprudencia[51] nacional sostiene que dicho artículo es una manifestación del llamado "principio de la subsidiaridad", conforme al cual la actividad empresarial a realizarse por el Estado debe ser de aquellas que no están siendo satisfechas por los particulares, ya sea porque éstos no pueden o simplemente porque no quieren hacerlo. Ahora bien, en contra de dicha postura tradicional han surgido nuevas voces disidentes que descartan el principio de la subsidiariedad como un requisito de rango constitucional adicional al cumplimiento de los quórum y las reglas formales establecidas en el artículo recién citado.[52]

En cualquier caso, del tenor literal de la Constitución resulta claro, a lo menos, que el "Estado y sus organismos" pueden efectuar actividades empresariales siempre que una ley de quórum calificado así los autorice.[53] Con ello cabría rechazar que la Constitución haya reservado en forma preferente a los privados las actividades empresariales, pues en definitiva lo único especial que ella establece es una ley de quórum calificado, norma que tiene el mismo rango y jerarquía que la ley ordinaria que es lo que se exige como requisito para cualquier actividad estatal. Por excepción, el principio de subsidiariedad permitiría al Estado intervenir, incluso sin ley de quórum calificado, cuando la iniciativa privada no esté en condiciones de asumir ciertas actividades.[54]

---

[50] *Ver* López Sebastián, *Garantía constitucional de la no discriminación económica*, Santiago, Editorial Jurídica, 2006, pp. 46-49; Fermandois Arturo, *Derecho Constitucional Económico*, Tomo I, Santiago, Universidad Católica, 2001, p. 170; Navarro Enrique, "El recurso de amparo económico en la jurisprudencia (1990-1995)*", Revista de Derecho Público*, 1995, Nº 57/58: pp. 42-44; Soto Kloss Eduardo "La Actividad Económica en la Constitución Política de la República de Chile", *Revista Ius Publicum,* 1999, Nº 2, p. 124; y Aróstica Maldonado Iván, *Derecho administrativo económico,* Santiago, Universidad Santo Tomás, 2001, p. 109.

[51] En efecto, ésta ha sido la jurisprudencia casi invariable de la Corte Suprema y del Tribunal Constitucional. Ver Sentencia del Tribunal Constitucional de 9 de septiembre de 1991 (rol N° 143), en Rafael Larraín Cruz, *Fallos del Tribunal Constitucional pronunciados entre el 23 de septiembre de 1985 y 23 de junio de 1992*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 1993, p. 424.; Considerando 8° de la Sentencia del Tribunal Constitucional de 21 de Abril de 1992 (rol N° 146); Considerando 5° de la sentencia de 4 de julio de 1995 (rol 2.798-95), reproducido en Ureta Silva, *El Recurso de Amparo Económico*, Santiago, Editorial Conosur, 1999, p.148; Considerando 3° de la sentencia de 27 de noviembre de 1998 confirmada por la Corte Suprema el 16 de diciembre de 1998, reproducida en Informe Constitucional N° 1905 (20 de diciembre de 1998); Considerando 2° de la Sentencia de la Corte Suprema de 4 de noviembre de 2003 (rol N° 4316- 2003), caratulada "Asociación Gremial de Industriales Gráficos AG; con Casa de Moneda de Chile"; Considerando 14° de la Sentencia del Tribunal Constitucional de 14 de noviembre de 2006 (rol N° 467); Considerando 6° de la Sentencia de la Corte Suprema de 25 de junio de 2009 (rol N° 3224-2009).

[52] Por ejemplo, Vallejo Rodrigo y Pardow Diego, Derribando mitos sobre el estado empresario, *Revista Chilena de Derecho*, 2008, vol.35, n.1, pp. 135-156; y Niño Eduardo, *La vigencia del principio de subsidiariedad en la actividad empresarial del Estado*, Santiago, Lexis Nexis, 2006, p.113.

[53] El artículo 63 de la CPR señala que las leyes de quórum calificado se "establecerán, modificarán o derogarán, por la mayoría absoluta de los Diputados y Senadores en ejercicio".

[54] Ver Dictamen 24.288 de 2001.

Por otra parte, el grueso de la doctrina y jurisprudencia coinciden en que la ley de quórum calificado debe ser especial y no de bases, a diferencia de lo que ocurre con las leyes marco o generales. En consecuencia, se deberá dictar la respectiva ley para cada caso en que se trate de autorizar al Estado o a sus organismos a desarrollar o participar en actividades empresariales,[55] sea que se trate de organismos públicos centralizados, descentralizados o empresas públicas. De lo contrario, cualquier particular podrá concurrir ante los tribunales y deducir la acción de amparo económico establecida en la Ley N° 18.971, a fin de denunciar una posible infracción al artículo 19 N° 21.

Se señala además que la autorización empresarial al Estado debe ser específica, de manera tal que se establezca con claridad el giro de la empresa estatal. Para algunos autores,[56] este requisito se traduciría en la necesidad de que el Congreso regule el objeto de la actividad empresarial en forma detallada, mencionando expresamente las actividades y negocios autorizados. Para otros autores, en cambio,[57] esta exigencia no escaparía de las reglas generales en cuanto a la definición del giro que rigen en el derecho general de sociedades; de esta forma, el giro empresarial estatal no sólo incluiría el catálogo de actividades que se establece en la ley sino también todas aquellas actividades conducentes, derivadas y conexas al mismo. En este punto, cabe mencionar que la jurisprudencia judicial ha sido errática, existiendo fallos en diversos sentidos.[58] La CGR, en cambio, ha optado por regla general por un criterio de interpretación más bien estricto.[59]

Enseguida, el inciso final del artículo 19 N° 21 señala que no basta con la autorización legal, sino que el desarrollo de las actividades empresariales del Estado debe quedar

[55] Entre otros ver Cea Egaña José Luis, "Facultad de ENAP para Asociarse y Prohibición de Reestructurarse por tal vía", Informe en Derecho, en *Revista de Derecho de Minas y Aguas, Copiapó*, Vol. II, 1991, p. 186 y ss.
[56] Ibídem
[57] Vallejo y Pardow, *op. cit.*, pp. 144 - 148.
[58] A favor de un criterio de interpretación restringido del giro empresarial estatal, ver los siguientes fallos: Asociación Gremial de Impresores de Chile con Ejército de Chile (Instituto Geográfico Militar), Corte de Apelaciones de Santiago 5.12.1991 (considerando 12°), Corte Suprema 8.1.1992, en Fallos del Mes 398 (1992) 831-836; Asociación Gremial de Impresores de Chile con Empresa de Correos de Chile, considerando 3° de la sentencia de 27 de noviembre de 1998 confirmada por la Corte Suprema el 16 de diciembre de 1998, reproducida en Informe Constitucional N° 1905 (20 de diciembre de 1998); y Sentencia de la Corte Suprema de 31 de enero de 2000 (rol N° 248.2000), que revocó el fallo de la Corte de Apelaciones de Santiago de 13 de enero de 2000 (rol 4.538-1999). A favor de un criterio más bien amplio, ver Confederación Nacional y Sindicatos de Empresas e Interempresas de Trabajadores del Transporte Terrestre y otros con Ministerio de Transporte y Empresa de Transporte de Pasajes Metro S.A. (1998), Corte de Apelaciones de Santiago, 28.4.1998, Corte Suprema (confirma) 14.5.1998 (rol 1.445-98); y Asociación Gremial de Industriales Gráficos AG con Casa de Moneda de Chile, Corte Suprema, 04.11.2003 (rol 4316-2003).
[59] Ver los dictámenes de la CGR N° 56.500 de 2008, N° 7.658 de 2009 y N° 26.506 del mismo año.

sometido a las mismas normas que rigen en esta materia a los particulares. De esta forma, la Constitución pretende, *en principio*, evitar la proliferación de regímenes especiales y privilegios. Ahora bien, de todos modos dichos regímenes especiales y privilegios pueden ser establecidos —según indica la citada norma constitucional— por ley de quórum calificado y mediando "motivos justificados que establezca la ley".

Por último, cabe señalar que nuestra Constitución también permite reservar ciertas actividades en forma exclusiva y excluyente al Estado cuando la "seguridad nacional" pueda esta comprometida. Como ya hemos repetido varias veces, la Constitución garantiza a los privados "desarrollar cualquiera actividad económica que no sea contraria a la moral, al orden público o a la **seguridad nacional**" (énfasis agregado). Por ello, si el Congreso estimase que la participación de los privados en la generación núcleo-eléctrica y en las distintas fases del *front-* y *back-end* del CCN pudiera ser contraria a la seguridad nacional, entonces podría reservarlas a la acción empresarial del Estado.

1.4. Alternativas estatales para realizar actividades empresariales

El Estado dispone de diversas alternativas para realizar actividades empresariales. Entre otras, puede asignarle cometidos de esta naturaleza a un órgano público ya sea éste integrante de la administración centralizada o descentralizada del Estado, puede optar por la creación de una empresa estatal, puede también crear una sociedad para estos efectos o participar en una ya existente. Todo esto es, además, sin perjuicio de las modalidades de participación público-privadas que se analizan más adelante en este capítulo.

Con todo, resulta fundamental tener en cuenta que cualquiera sea la alternativa escogida, resulta plenamente aplicable lo dispuesto en el artículo 19 N° 21. Esta norma hace uso de la expresión el "Estado y sus organismos". En general, esta locución se ha entendido que es comprensiva de todas las formas mediante las cuales el Estado ejerce actividades empresariales.[60] En consecuencia, la norma abarcaría a todos los sujetos jurídicos estatales —incluyendo las sociedades anónimas creadas por entes estatales—, puesto que lo determinante para su aplicación es la naturaleza de la actividad efectuada por el Estado y no el órgano que la ejecuta.[61] En otras palabras, el criterio que se utiliza al efecto es material y no formal.

Para efectos del presente trabajo, hemos optado por distinguir tres categorías o alternativas organizacionales que el Estado podría adoptar para realizar actividades empresariales en lo que se refiere a energía núcleo-eléctrica. Estas categorías se

[60] Aróstica Maldonado Iván, *op.cit.*, p. 105.
[61] *Ibídem,* p. 151.

analizan a continuación, incluyendo una referencia pormenorizada al estado actual del ordenamiento chileno en la materia.

1.4.1. A través de un órgano público

Una primera alternativa que posee el Estado para realizar actividades empresariales relativas a la eventual incorporación en Chile de la energía núcleo-eléctrica, es hacerlo a través de un órgano público.

Cabe señalar que, conforme a la legislación vigente y salvo una excepción que veremos enseguida, no existen servicios públicos centralizados o descentralizados que estén legalmente autorizados para desarrollar actividades empresariales en materia de energía núcleo-eléctrica. Ahora bien, nada obsta a que a través de una nueva ley de quórum calificado le sea encomendado a un determinado servicio público la realización de actividades de esta naturaleza.

Como decíamos, existe una sola excepción: la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). De acuerdo al artículo 1 de la ley N° 16.319, la CCHEN es un organismo de la administración autónoma del Estado, con personalidad jurídica de Derecho público y que se relaciona con el Gobierno a través del Ministerio de Energía.[62] El Artículo 3° de la citada ley señala que "*[e]l objeto de la Comisión será atender los problemas relacionados con la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de la energía atómica y de los materiales fértiles, fisionables y radioactivos*". Como puede apreciarse, se trata de una disposición que define un objeto amplio en favor de la CCHEN.

El mismo Artículo 3° agrega en su letra d) que serán funciones de la CCHEN en cumplimiento de su objeto el "*[f]omentar, realizar o investigar, según corresponda y con arreglo a la legislación vigente, la exploración, la explotación y el beneficio de materiales atómicos naturales, el comercio de dichos materiales ya extraídos y de sus concentrados, derivados y compuestos, el acopio de materiales de interés nuclear, y la producción y utilización, con fines pacíficos, de la energía nuclear en todas sus formas, tales como su aplicación a fines médicos, industriales o agrícolas y la generación de energía eléctrica y térmica*".

Conforme a los términos de esta disposición —la que de acuerdo al artículo cuarto transitorio de la CPR se entiende cumplir con el requisito de quórum calificado[63]—,

[62] De acuerdo al artículo 4º de la Ley 20.402 que Crea el Ministerio de Energía, "Modifícase la ley Nº 16.319, Ley Orgánica de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, de la siguiente manera: 1. Sustitúyese en el inciso tercero de su artículo 1º, la palabra "Minería" por "Energía"".
[63] Artículo cuarto transitorio de la CPR: "Se entenderá que las leyes actualmente en vigor sobre materias que conforme a esta Constitución deben ser objeto de leyes orgánicas constitucionales o

cabe concluir que la CCHEN se encuentra autorizada legalmente para realizar actividades empresariales relativas a la energía núcleo-eléctrica. En efecto, de acuerdo a este artículo la CCHEN está facultada para participar en las diversas etapas de preparación del combustible nuclear o *front-end* del CCN, como también para producir energía nuclear y utilizarla en la generación de energía eléctrica. En nuestro concepto, esta definición amplia permita a la CCHEN poseer y operar una planta nuclear.

En lo que se refiere al *front-end* del CCN, el Artículo 7 de la misma ley ratifica la autorización a que nos referimos:

> *Artículo 7°. Las funciones y atribuciones que la ley entrega al Estado respecto de la exploración, explotación y beneficio de materiales atómicos naturales, del comercio de dichos materiales ya extraídos y sus concentrados, derivados y compuestos, y del acopio de materiales de interés nuclear, solamente podrán ejercerse por la Comisión.*
>
> *La producción de energía nuclear con fines pacíficos sólo podrá realizarse por la Comisión o con su licencia previa. La Comisión podrá realizar dicha producción por sí o por medio o en unión de terceros.*[64]

Es importante destacar que el Artículo 7 inciso 2° se refiere a la producción de energía nuclear, concepto que no incluye la utilización de la energía nuclear ya producida con el objeto de generar electricidad. Esto no significa que la CCHEN no pueda ser dueña y operar una planta de generación núcleo-eléctrica, pues ello está expresamente autorizado por el artículo 3 letra d), antes citado. Una interpretación armónica de ambos preceptos permite concluir que el artículo 7 inciso 2° debe restringirse a limitar las facultades de la CCHEN en orden a crear sociedades comerciales privada y

---

aprobadas con quórum calificado, cumplen estos requisitos y seguirán aplicándose en lo que no sean contrarias a la Constitución, mientras no se dicten los correspondientes cuerpos legales".

[64] Ver también el Decreto Ley 1.557 de 1976, que modifica la Ley Orgánica de la CCHEN y dicta normas sobre contratos de operación, que también contempla la participación de CCHEN con terceros. Ahora bien, en nuestro concepto, diversas normas del DL 1.557, incluyendo las relativas a contratos de operación sobre materiales atómicos naturales, parecen encontrarse tácita u orgánicamente derogadas por el artículo 244 del Código de Minería ("[d]erógase toda disposición legal o reglamentaria contraria o incompatible con los preceptos de este Código"), especialmente su numeral 5 que derogó los artículos 5 y 6 de la Ley 16.319 (normas que establecían el control y reserva estatal de los materiales atómicos naturales). El Decreto Ley 1.557 fue dictado en su momento bajo la premisa esencial que "la ley 16.319 establece la reserva de ciertos materiales atómicos naturales en favor del Estado" (considerando 1) de la ley), presupuesto excepcionalísimo que se encuentra derogado por las citadas normas del Código de Minería. Ahora bien, existen dos teorías que podrían seguirse para argumentar que las normas del DL 1.557 están vigentes: Por una parte, podría afirmarse que el estatuto del DL 1.557 ha quedado en un estado de "suspensión", a la espera que a futuro se reserve algún nuevo material atómico natural al Estado. Por otra parte, y en materia de contratos de operación, podría sostenerse que tales contratos siguen siendo una alternativa válida para explotar materiales atómicos naturales de actual propiedad de CCHEN, incluso si ellos no estén reservados al Estado.

con participación de terceros que puedan desarrollar actividades de generación eléctrica.

Por su parte, el artículo 32 de la Ley de Seguridad Nuclear (en adelante LSN) señala que "*[s]erá responsabilidad de la Comisión Chilena de Energía Nuclear la mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radiactivos de larga vida*". En consecuencia, esta norma amplía el objeto de la CCHEN para abarcar también la gestión de los desechos nucleares o radioactivos de larga vida, incluyendo por tanto el denominado "*back-end*" del CCN.

1.4.2. A través de la creación de sociedades conforme a las reglas del derecho comercial

Otra alternativa de la cual dispone el Estado o sus organismos para participar en actividades relativas a la generación núcleo-eléctrica, es ingresar a la participación accionaria de una sociedad ya constituida para estos efectos o crear una nueva sociedad con este fin, esto con arreglo a los procedimientos generales del derecho comercial (nos referimos aquí a sociedades cuyo único accionista o socio es el Estado).

Cabe precisar al respecto, que estas sociedades son sujetos de Derecho privado —en oposición a las personas jurídicas de Derecho público—, y no obsta a su naturaleza jurídica-privada la circunstancia de que uno o más entes estatales sean sus accionistas o socios exclusivos.[65]

Estas sociedades además deben ser distinguidas de las empresas públicas creadas por ley (en adelante EPL y analizadas más adelante en este trabajo). Así, las sociedades creadas conforme al Derecho comercial —generalmente, sociedades anónimas— no forman orgánicamente parte de la Administración del Estado,[66] a diferencia de lo que ocurre con las EPL que sí forman parte de ella.

Ahora bien, a efectos de determinar si es necesario contar con una ley de quórum calificado para crear sociedades anónimas conforme al Derecho comercial (o adquirir alguna existente), es necesario atenerse al objeto de la entidad aportante o constituyente. El objeto de la entidad legal en cuestión debe reunir un doble requisito:

---

[65] De acuerdo al artículo 2053 del Código Civil, la sociedad constituye "*una persona jurídica, distinta de los socios individualmente considerados*". Además, ver en este sentido el dictamen de la CGR N° 17.005 de 1999 y la Sentencia del Tribunal Constitucional del 4 de noviembre de 1996 (rol N°249) cuando señala tajantemente en su considerando 3° que ENACAR S.A., filial de CORFO, "*nunca ha tenido ni tiene la calidad de empresa pública creada por ley, sino, su origen que mantiene en la actualidad es el de una sociedad anónima regida por la ley del ramo, Nº 18.046, y por el Código de Comercio*".

[66] En este sentido Aróstica Maldonado Iván, *op.cit.*, p. 113.

- En primer término, debe tratarse de un órgano público cuyo objeto legal comprenda la actividad empresarial que se le quiere dar (o que ya tenga) a la sociedad comercial, en nuestro caso, actividades relativas al CCN o de generación núcleo-eléctrica (como es el caso de la CCHEN, por ejemplo). En otras palabras, las sociedades anónimas no pueden ser usadas para ampliar el giro autorizado por la ley al órgano que pretende constituirlas.[67]

- En segundo término, el órgano público deben estar autorizado a crear sociedades anónimas también por ley de quórum calificado. Así lo dispone el artículo 6 de la Ley 18.575 Orgánica Constitucional sobre Bases Generales de la Administración del Estado (en adelante LOCBGAE)[68] y así ha sido confirmado por la Contraloría General de la República:

  Ahora bien, toda nueva sociedad a crearse por un organismo empresarial del Estado, aún cuando no esté destinada a extender el ámbito de las actividades empresariales en que participa esa entidad, requiere una nueva ley aprobada con quórum calificado, en conformidad con los citados artículo 6° de Ley N° 18.575 y 19 N° 21 de la Carta Fundamental. (Aplica Dictamen N° 24.379, de 1992). Esta interpretación es armónica con la excepcionalidad del giro empresarial estatal, principio fundamental para determinar la acción de las empresas estatales.[69]

Tratándose de la Corporación de Fomento a la Producción (en adelante CORFO), la ley expresamente señala que, para que dicha corporación pueda participar en nuevas sociedades estatales, es necesario contar con una autorización otorgada por una nueva ley de quórum calificado. De acuerdo al inciso final del artículo 25 de la Ley 6.640:

> *No obstante lo establecido en el presente artículo y demás normas legales y reglamentarias aplicables, la Corporación, para concurrir a la formación de empresas o participar en la propiedad o administración de otras distintas a las en que al 31 de diciembre de 1989 tenga porcentaje en su capital social o injerencia en su administración, requerirá de autorización*

[67] En este sentido, ver los dictámenes de la CGR N° 7.658 de 2009 y 26.506 de 2009.
[68] Art. 6: "El Estado podrá participar y tener representación en entidades que no formen parte de su Administración sólo en virtud de una ley que lo autorice, la que deberá ser de quórum calificado si esas entidades desarrollan actividades empresariales". Al respecto, es necesario además tener en cuenta que la disposición cuarta transitoria de la CPR señala que: "[s]e entenderá que las leyes actualmente en vigor sobre materias que conforme a esta Constitución deben ser objeto de leyes orgánicas constitucionales o aprobadas con quórum calificado, cumplen estos requisitos y seguirán aplicándose en lo que no sean contrarias a la Constitución, mientras no se dicten los correspondientes cuerpos legales".
[69] Dictamen de la CGR N° 20.151 de 2005.

> *expresa otorgada por ley en conformidad a lo establecido en el inciso segundo del número 21 del artículo 19º de la Constitución Política. Igual autorización necesitarán para tales actos las empresas o entidades filiales de dicha Corporación.*

De acuerdo a este artículo entonces, la participación de CORFO en una nueva sociedad filial requiere de autorización otorgada mediante ley de quórum calificado, incluso en el caso que ello no signifique extender el ámbito de las actividades empresariales en que actúa dicha corporación.[70]

De modo que, conforme a lo que aquí se ha señalado, habrá que estarse al objeto o giro del órgano público (incluidas las EPL) que constituye o participa en la sociedad anónima.[71] Por este motivo y dada la redacción de la Ley 16.319, la CCHEN pareciera estar actualmente autorizada para crear sociedades cuyo objeto o giro sea la "producción de energía nuclear", concepto que incluye, en nuestro concepto, las distintas etapas del *front-end* del CCN (explotación minera, chancado y formación de *yellowcake*, servicio de conversión del concentrado de uranio, enriquecimiento y producción de pellets cerámicos de combustible) pero no así la generación de electricidad ni la gestión de desechos y repositorios. Esto se deduce, como hemos señalado más arriba, del artículo 7 inciso 2° de la citada ley, que señala que *"[l]a Comisión podrá realizar dicha producción [de energía nuclear] por sí o por medio o en unión de terceros*".[72]

1.4.3. A través de empresas estatales creadas por ley (EPL)

Una tercera alternativa de la cual dispone el Estado para participar en actividades relativas a la generación núcleo-eléctrica son las llamadas "empresas públicas creadas por ley". Éstas han sido definidas como todas "*aquellas entidades de que se vale de ordinario el Estado para desarrollar actividades empresariales y, de este modo, satisfacer una necesidad pública*".[73]

---

[70] En este sentido, el dictamen N° 24.379 del año 1992 de la CGR.

[71] Sin perjuicio de que alguna jurisprudencia ha fallado que no es necesario la comentada autorización para crear o participar en una sociedad siempre y cuando en los hechos, no se contravenga el objeto de órgano público, lo que la doctrina ha denominado como el "*criterio de infracción fáctico*". Ver al respecto la sentencia de la Corte de Apelaciones de Santiago de 28 de Abril de 1993, caratulada "Asimet con CODELCO" (Rol 575-93), en Informe Constitucional N° 572 (17 de junio de 1993). Una opinión algo distinta podemos encontrar en el dictamen N° 26.506 de la CGR de 2009, en la cual el ente fiscalizador señaló que ENAP debía modificar el giro de las sociedades en las cuales adquirió participación a fin de conciliarlos con su propio objeto legal.

[72] El artículo 2 del DL 1.557 de 1976 se refiere a la facultad de CCHEN de incorporar a terceros en su giro, pero, como señalamos anteriormente en la nota al pie 64, no es claro que dichas normas estén vigentes.

[73] Ver Aróstica Maldonado Iván, *op.cit.*, p. 109.

Ahora bien, esta definición es muy amplia. Siguiendo un criterio orgánico, cabe precisar que, para efectos del presente trabajo, no se consideran dentro de esta categoría los servicios públicos centralizados ni descentralizados, ni las sociedades creadas conforme a los procedimientos del Derecho comercial o en las cuales tiene participación un órgano público. Estos casos han sido analizados en forma independiente en los puntos anteriores.

Las EPL se caracterizan por ser personas jurídicas de Derecho público y que forman parte de la administración del Estado,[74] conforme lo dispone el Artículo 1 inciso 2° de la Ley Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado. No obsta a este carácter el que algunas de ellas se encuentren sujetas en determinados aspectos a las normas de las sociedades anónimas abiertas.[75]

Actualmente en Chile, integran la lista de EPL las siguientes instituciones: la Empresa de Abastecimientos de Zonas Aisladas (EMAZA), el Banco del Estado de Chile, la Fábrica y Maestranzas del Ejército (FAMAE), los Astilleros y Maestranzas de la Armada (ASMAR), la Empresa Nacional de Aeronáutica de Chile (ENAER), la Empresa de los Ferrocarriles del Estado (EFE), las diez empresas sucesoras de la ex-Empresa Portuaria de Chile, la Empresa de Correos de Chile, Televisión Nacional de Chile (TVN), la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) y la Empresa Nacional de Minería (ENAMI).

A continuación, analizaremos el objeto social de estas tres últimas EPL a fin de determinar si se encuentran autorizadas para desarrollar actividades relativas a la generación núcleo-eléctrica, ya sea por sí o a través de sociedades anónimas creadas al efecto.

1.4.3.1. Empresa Nacional del Petróleo (ENAP)

ENAP es una empresa pública que fue creada por la Ley N° 9.618 del 19 de junio de 1950. Según el Artículo 2 de dicha ley, ENAP es una empresa comercial con personalidad jurídica, que depende de la Corporación de Fomento de la Producción.

El objeto social o giro empresarial de ENAP está establecido en el mismo artículo 2 en los siguientes términos:

> *La Empresa Nacional del Petróleo podrá ejercer actividades de exploración, explotación o beneficio de yacimientos que contengan hidrocarburos, dentro o fuera del territorio nacional, ya sea directamente*

[74] *Ibídem,* p. 110.
[75] Como ocurre por ejemplo con EFE, TVN y CODELCO.

o por intermedio de sociedades en las cuales tenga participación o en asociación con terceros. Si ejerciere dichas actividades dentro del territorio nacional por intermedio de sociedades en que sea parte o en asociación con terceros, deberá hacerlo por medio de concesiones administrativas o de contratos especiales de operación, con los requisitos y bajo las condiciones que el Presidente de la República fije en el respectivo decreto supremo.

La Empresa Nacional del Petróleo puede, además, sin que ello le esté reservado exclusivamente, ya sea directamente o a través de sociedades en que tenga participación, almacenar, transportar, transformar, tratar, procesar, refinar, vender y, en general, comercializar petróleo o gas, así como desarrollar cualquier otra actividad industrial que tenga relación con hidrocarburos, sus productos y derivados. Asimismo, la Empresa podrá, por cuenta del Estado, recibir, readquirir, vender y comercializar en cualquier forma los hidrocarburos provenientes de contratos especiales de operación, y ejercer las demás funciones y derechos que el decreto supremo y el correspondiente contrato le encomienden, sea que en estos contratos tenga o no participación la Empresa. ***Finalmente, la Empresa podrá participar, a través de sociedades en que tenga una participación inferior al 50% del capital social, en actividades relacionadas con la energía geotérmica, pudiendo, para esos efectos, formular solicitudes de concesión, participar en licitaciones, prestar toda clase de servicios a los concesionarios para la ejecución de las labores de exploración y de explotación de energía geotérmica, y, en general, desarrollar todas las actividades industriales y comerciales que tengan relación con la exploración y la explotación de esa energía.*** *Tales sociedades podrán también tener por objeto el aprovechamiento de las aguas subterráneas alumbradas en las labores de exploración y explotación geotérmica.*

Como se aprecia en esta norma, el giro comercial de ENAP está dado fundamentalmente por la exploración, producción y comercialización de hidrocarburos y sus derivados.[76]

[76] En este sentido se ha pronunciado la CGR en su dictamen N° 7.658 del año 2009, al señalar que "*se puede apreciar que las atribuciones de la mencionada entidad [ENAP] si bien son amplias en cuanto a las actividades de la cadena de producción en que puede intervenir, siempre se refieren a la actividad industrial que tenga relación con hidrocarburos, sus productos y derivados. Lo anterior se ve confirmado por la facultad, conferida en la parte final del inciso tercero del artículo 2° de la ley N° 9.618, de participar, bajo determinadas condiciones, en actividades relacionadas con la energía geotérmica, disposición que reafirma la excepcionalidad de la habilitación para realizar actividades empresariales en una determinada área y la necesidad de que sea un precepto legal el que la otorgue expresamente".*

No obstante, particular interés presenta la última parte del inciso segundo del Artículo en análisis. Esta disposición autoriza a ENAP a participar, a través de sociedades en que tenga una cuota inferior al 50% del capital social, en actividades relacionadas con la energía geotérmica. De esta forma, esta norma extiende el giro de ENAP ya no sólo a actividades relativas a los hidrocarburos, sino también a la generación energética.[77] Sin perjuicio de esto, la misma norma circunscribe dichas actividades a una especie particular de energía, la geotérmica.[78]

Demás está señalar que no es posible entender comprendida dentro del concepto de energía geotérmica a la energía nuclear. Se trata de categorías perfectamente diferenciables.[79] Podemos concluir entonces que conforme a la legislación vigente, las actividades relativas a la eventual incorporación de la energía núcleo-eléctrica en Chile escapan del giro legal de ENAP. Por tanto, mientras no exista una ley de quórum calificado que extienda su giro, ENAP estará impedida de realizar este tipo de actividades.[80]

1.4.3.2. Corporación Nacional del Cobre (CODELCO)

De acuerdo al artículo 1º del Decreto Ley N° 1.350, CODELCO es una empresa del Estado, minera, industrial y comercial, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que se relaciona con el Gobierno a través del Ministerio de Minería.

Según el artículo 3 de la citada ley, CODELCO está autorizada entre otras cosas, para:

> *b) Realizar exploraciones geológicas u otras tendientes a descubrir y reconocer yacimientos de minerales no ferrosos dentro del territorio nacional, constituir y adquirir a cualquier título concesiones mineras y demás derechos mineros y explotar otros yacimientos mineros;*
> *c) Producir minerales y concentrados de cobre, cobre en cualquiera de sus formas, subproductos y demás derivados y sustancias que se obtengan de la explotación de minerales de cobre, o que provengan de procesos complementarios de producción, en plantas propias o ajenas, y beneficiar minerales de terceros en sus propias plantas;*

[77] En virtud de esta autorización ENAP tiene participación en las siguientes empresas vinculadas a la generación de energía: Energía Andina S.A. (con el 40% del patrimonio social), Empresa Nacional de Geotermia S.A. (con el 49%) y Geotérmica del Norte S.A. (con el 44%).
[78] De acuerdo al artículo 3 de la ley 19.657, a define a este tipo de energía como "*aquella que se obtenga del calor natural de la tierra, que puede ser extraída del vapor, agua, gases, excluidos los hidrocarburos, o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin*".
[79] En efecto, la ley 16.319 que crea a la CCHEN, hace esta distinción en su artículo 3 letra d).
[80] Por ejemplo, la ampliación del giro de ENAP a actividades relacionadas con la energía geotérmica tuvo su origen en una nueva ley de quórum calificado (Art. 45 de la ley 19.657).

> *d) Producir otros elementos no ferrosos, sea en forma de minerales, concentrados, fundidos o refinados, o en cualquiera otra forma, y los productos y subproductos derivados de los mismos;*
> *e) Manufacturar o semimanufacturar cualquiera de los metales, productos o subproductos mencionados precedentemente;*
> *f) Comercializar minerales, productos y subproductos mencionados en las letras anteriores;*
> *g)* ***En general, realizar, en el país o en el extranjero, toda clase de actividades civiles, comerciales o de cualquiera otra naturaleza, que se relacionen directa o indirectamente con la explotación, producción, manufactura, elaboración y comercialización del cobre y otros metales o minerales, productos, subproductos y sustancias mencionadas en las letras precedentes, o que sean necesarias o convenientes para la empresa****.*

Como se aprecia en esta norma, el objeto legal de CODELCO es amplio. Así, CODELCO está autorizada para realizar una serie de actividades, principalmente relacionadas con la extracción, producción y comercialización del cobre, pero no sólo limitado a ellas.

En particular, la letra g) del Artículo 3 señala que también quedan comprendidos dentro de su objeto todas aquellas actividades que, sin importar su naturaleza, se relacionen directa o incluso indirectamente con la explotación, producción, manufactura, elaboración y comercialización del cobre, minería no ferrosa y demás elementos allí mencionados. Es más, esta misma disposición señala que bastará con que la actividad sea "*necesaria o conveniente para la empresa"* para que CODELCO esté autorizado a realizarla.

Por su parte, la letra k) del artículo 9, referido a las atribuciones del Directorio de CODELCO, agrega que éste se encuentra habilitado entre otras cosas, para "[c]onstituir, participar o tomar interés en corporaciones y sociedades, cualquiera que sea su naturaleza, dentro o fuera del país, para el mejor logro de las metas de la Empresa". Enseguida, los artículos 1 y 2 de la Ley Nº 19.137 de 1992 autorizan a CODELCO a que, previo informe favorable de la Comisión Chilena del Cobre, disponga de sus pertenencias mineras que no se encuentren en explotación, pudiendo crear sociedades conforme al Derecho comercial, incluyendo *joint-ventures* con terceros.[81]

[81] Artículo 2 inc. 1o de la Ley 19.137: "La autorización a que se refiere el artículo precedente comprende el aporte o la participación en sociedades, asociaciones o comunidades de cualquier naturaleza, con personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales, extranjeras o internacionales, y, en general, la celebración de todo acto, contrato o negocio referente a las pertenencias mineras indicadas en dicho artículo, sea de arrendamiento, de promesa, de usufructo o cualquier otro destinado a la exploración o explotación de esas pertenencias en conjunto con terceros y que sirva al proósito de

En uso de las autorizaciones otorgadas por la ley, CODELCO participa actualmente en la propiedad de importantes empresas generadoras de energía eléctrica,[82] entre las que se cuentan:

- Electroandina S.A.,[83] principal empresa generadora del SING, con un aporte del 28% de la capacidad instalada de dicho sistema, y en donde CODELCO participa, de forma consolidada, en el 66,7% de la propiedad de la compañía (participa en forma directa con el 34,8% del patrimonio social e indirectamente a través de Inversiones Tocopilla Ltda. con el porcentaje restante).[84]

- Empresa Eléctrica del Norte Grande S.A.[85] (EDELNOR), donde participa a través de Mejillones S.A.[86]

- Geotérmica del Norte, donde participa en el 5% de la propiedad.

- Termoeléctrica Energía Minera S.A.,[87] compañía que si bien no cuenta con capacidad actual de generación eléctrica, posee hoy en día autorización ambiental para la construcción de unidades de generación en base de carbón, por una inversión de 1.700 millones de dolares, con capacidad de inyectar al sistema 350 MW, y en donde CODELCO cuenta con el 99% de la propiedad.

---

expandir las actividades de la Corporación Nacional del Cobre de Chile en proyectos mineros con el concurso de capitales, tecnología, mercado, experiencia y otros aportes de aquéllos".

[82] Cabe destacar que ninguna de estas operaciones ha sido cuestionada a la fecha por la CGR ni ha sido objeto de un pronunciamiento judicial.

[83] El objeto social de Electroandina S.A. corresponde a la "*[g]eneración y transmisión de energía eléctrica como asimismo servicios portuarios de mantención industrial de sistemas de transmisión, de asesoría y capacitación industrial"*.

[84] Esquema de propiedad elaborado a partir de la información disponible en http://www.electroandina.cl/interiorem1.htm.

[85] El objeto social de EDELNOR S.A. es la "*producción, almacenamiento, comercialización, transporte y distribución de todo tipo o clase de combustibles; y la adquisición, construcción, mantención y explotación de las instalaciones de infraestructura y obras físicas necesarias para su transporte, recepción, procesamiento y almacenamiento, tanto en Chile como en el exterior, por sí o en sociedad con terceros".*

[86] CODELCO participa en forma directa en Inversiones Mejillones S.A. con el 34, 8% del patrimonio social. El resto es de propiedad de Inversiones Tocopilla S.A. donde CODELCO cuenta con el 49%.

[87] El objeto social de esta empresa es aún más amplio y consiste en "*[d]esarrollar, directamente o por intermedio de terceros, individualmente o junto con otros, dentro del territorio de la República de Chile o en el extranjero, la siguiente actividad: generar, suministrar, comprar y vender energía eléctrica; prestar servicios energéticos de todo tipo; obtener, transferir, comprar, arrendar gravar o explotar en cualquier forma las concesiones y mercedes respectivas a que se refieren la Ley en General de Servicios Eléctricos y demás normas que regulan la actividad energética; solicitar los permisos, autorizaciones y franquicias para conservar, promover o desarrollar los fines de la Sociedad; comprar, vender, importar, exportar, elaborar, producir, comercializar y distribuir toda clase de bienes o insumos, que digan relación con la energía de cualquier clase*".

- CODELCO posee, por último, el 50% de la Sociedad GNL Mejillones (comparte propiedad con la empresa privada GDF Suez). Esta firma es dueña de la planta de GNL ubicada en la bahía del Mejillones, con una capacidad de generación de 1.100 MW.

Ahora bien, el problema que plantea esta clase de "*giro social amplio*" es delimitar hasta qué punto las diversas actividades empresariales se encuentran comprendidas dentro de él. Como se puede apreciar, en el comentado Artículo 3 del DL N° 1.350 no existe ninguna alusión directa a las actividades en materia energética (dentro de las cuales se podría encontrar la generación de energía núcleo-eléctrica). No obstante, CODELCO ha llevado a cabo diversas actividades en este rubro a través de las sociedades antes mencionadas, fundamentalmente referidas a la operación de plantas termoeléctricas.

Como ya dijimos, para que las EPL (como es el caso de CODELCO) puedan, por sí o a través de sociedades y sin necesidad de una nueva ley de quórum calificado que las autorice, involucrarse en actividades de esta naturaleza, es necesario que dichas actividades se encuentren comprendidas dentro de su objeto. En este caso en particular, CODELCO parece haber llevado a cabo estas actividades amparada fundamentalmente en la letra g) del citado artículo 3, esto es, amparada en el hecho de tratarse de una actividad "*necesaria para [el funcionamiento de] la empresa"*.

Podría sostenerse que esta condición se cumpliría si CODELCO generara energía para su auto-consumo (como de hecho es, en parte, el caso). Ahora bien, el desarrollo de una planta de energía núcleo-eléctrica no tendrá por objeto su auto-abastecimiento, sino comercializar energía con los clientes libres, distribuidoras y generadoras del SING y/o SIC, según corresponda.[88] Esta hipótesis constituiría una actividad empresarial bastante difícil de justificar al tenor del objeto legal de CODELCO, y por ende sujeta al riesgo casi cierto de ser objetada ante los tribunales de justicia.

Cuestión distinta ocurre, en cambio, con el "*front-end"* del CCN. En efecto, si el uranio es considerado un *subproducto* del cobre, no se advierten problemas desde el punto de vista del objeto legal de CODELCO, para que este mineral sea extraído, producido, elaborado y comercializado por la Corporación.[89] Es más, aún en aquellos casos en que la minería del uranio no se encuentre asociada a la producción de cobre, podría

[88] Debe notarse, eso sí, que actualmente CODELCO, a través de las sociedades EDELNOR y Electroandina, genera buena parte de la electricidad del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y tiene planes para entrar al Sistema Interconectado Central (SIC) a través de Energía Minera S.A.

[89] De hecho, actualmente existen proyectos de recuperación del Uranio (presente en los relaves de la minera) entre la CCHEN y CODELCO. Al respecto ver http://bit.ly/9KXcZG

igualmente entenderse comprendida dentro del objeto de CODELCO en virtud de la letra d) del artículo 3 del DL N° 1.350, referido a la *minería no ferrosa*. Dado que CODELCO esta autorizado además para crear nuevas sociedades anónimas, ellas podrían también desarrollar esta actividad empresarial.

Respecto del "*back-end"* del CCN, conforme al objeto legal de CODELCO, en principio no parece posible comprender en él las actividades relativas a la gestión del combustible nuclear gastado y de los desechos radioactivos en general. Excepcionalmente, y de aceptarse que CODELCO está autorizado para involucrarse en la generación núcleo-eléctrica, podría argumentarse que la gestión de los desechos y el combustible nuclear gastado es accesoria al giro principal de la empresa y por ende estaría incluida. Esta interpretación sin embargo, es poco persuasiva y por lo mismo presenta un alto riesgo de ser impugnada judicialmente por infracción al inciso segundo del artículo 19 N° 21.

En suma, de acuerdo a lo que aquí se ha señalado y dado el objeto legal de CODELCO, no es recomendable que esta empresa participe en el desarrollo de actividades empresariales relativas a la generación núcleo-eléctrica, ni a las etapas vinculadas al "*back-end*" del CCN (si no cuenta antes con una nueva ley de quórum calificado que así lo autorice). Con todo, y a diferencia de lo que ocurre en el caso anterior, no se advierten problemas desde el punto de vista del objeto legal de CODELCO, para que la Corporación desarrolle, por sí o a través de una sociedad creada para estos efectos, actividades relativas al "*front-end*" del CCN.

1.4.3.3. Empresa Nacional de Minería (ENAMI)

ENAMI es una empresa pública que fue creada por el Decreto con Fuerza de Ley N° 153 de 29 de febrero de 1960. Según el Artículo 1º, ENAMI es una empresa comercial con personalidad jurídica propia, cuyas relaciones con el Gobierno se ejercen por intermedio del Ministerio de Minería. El artículo 2 define su objeto social en los siguientes términos:

> *La Empresa tendrá por objeto fomentar la explotación y beneficio de toda clase de minerales existentes en el país, producirlos, concentrarlos, fundirlos, refinarlos e industrializarlos, comercial con ellos o con artículos o mercaderías destinados a la industria minera, como igualmente, realizar y desarrollar actividades relacionadas con la minería y prestar servicios en favor de dicha industria.*

De modo que, al igual que CODELCO, ENAMI está autorizada para realizar un amplio conjunto de actividades mineras, incluyendo la extracción, producción y

comercialización de minerales.[90] Ahora bien, en la práctica, ENAMI concentra sus esfuerzos en tres áreas: a) el fomento de la pequeña y mediana minería; b) el procesamiento de cobre, oro y plata, entre otros, en sus plantas de beneficio, fundición y refinación; y, c) la comercialización de productos en los mercados internacionales en condiciones que favorezcan a los pequeños y medianos mineros.[91]

ENAMI también cuenta con las facultades necesarias para constituir sociedades comerciales y participar en ellas junto a terceros. De acuerdo al artículo 3 Nº 13, ENAMI puede "constituir sociedades de cualquier naturaleza relacionadas directa o indirectamente con la minería, modificarlas, prorrogarlas, disolverlas, liquidarlas y suscribir y enajenar derechos y acciones sobre las mismas". Por su parte, el artículo 3 Nº 14 también define facultades amplísimas para la Empresa, incluyendo "ejecutar todos los actos y celebrar todos los contratos tendientes a cumplir con el objeto de la Empresa".

Conforme a esta autorización, ENAMI participa como socio junto a privados en al menos los siguientes tres grandes proyectos de extracción de cobre:

- Compañía Minera Quebrada Blanca S.A., en la que ENAMI participa con un 10% de las acciones.

- Compañía Minera Carmen de Andacollo (empresa minera contractual chilena), respecto de la cual ENAMI también es dueña de un 10%.[92]

- El Proyecto Delta, un complejo mina-planta que cuenta con la participación de privados en algunas dimensiones del proyecto, particularmente en la explotación de la mina.

En consecuencia, al igual que en el caso de CODELCO, ENAMI podría, en el límite de su giro, generar energía para su auto-consumo, pero no participar en un proyecto de generación de la envergadura de uno núcleo-eléctrico. Ahora bien, es indudable que sí se encuentra facultada para desarrollar actividades empresariales en el "*front-end*" del CCN.

---

[90] Ver también el artículo 3 del DFL 153 de 1960, que define las funciones de ENAMI en términos igualmente amplios.

[91] *Vid.* http://www.enami.cl/OpenDocs/asp/pagDefault.asp?boton=Doc9&argInstanciaId=9&argCarpetaId=3&argTreeNodosAbiertos=%20%283%29&argTreeNodoActual=3&argTreeNodoSel=3&argRegistroId=41 (última visita, 26 de marzo de 2010).

[92] *Vid*. http://www.cochilco.cl/atencion_usuario/prin_empresas.asp (última visita, 26 de marzo de 2010).

1.4.4. A través de un joint-venture público-privado (o empresa de participación mixta)

Otra alternativa de la cual dispone el Estado para participar en actividades empresariales relativas a la generación núcleo-eléctrica es la creación de un *joint-venture* público-privado o empresa de participación mixta.

En su formulación más simple, el *joint-venture*[93] se traduce en la *"asociación de dos o más entes jurídicos que se unen para llevar a cabo operaciones comerciales, y aún civiles, de gran envergadura económico-financiera, con objetivos limitados, dividiéndose la labor según aptitudes y posibilidades, y soportándose los riesgos correspondientes según convenios que se establecen entre ellas y que por consiguiente, pueden ser de contenido variable*".[94] Gracias a este tipo de alianzas entonces, dos o más entidades —aquí una pública y otra u otras privadas—, aportan capital u otro tipo de activos (tecnología, maquinaria, etc.), dando origen a una nueva empresa para llevar a cabo una determinada actividad económica o un proyecto en común.[95]

Cualquiera sea la alternativa escogida, si el Estado o sus organismos o empresas deciden participar en un *joint-venture* público-privado, deberá contar con la doble autorización legal a que se refiere el inciso segundo del artículo 19 N° 21 de la CPR: una autorización en cuanto a la actividad empresarial en cuestión y otra relativa a la creación de nuevas entidades jurídicas (sociedades o compañías). De esta forma, habrá que estarse a la cobertura del objeto legal de la entidad que formará parte del *joint-venture* para determinar si se encuentra autorizada para llevar a cabo actividades relativas a la generación núcleo-eléctrica.[96]

Como hemos señalado, los únicos organismos estatales que pueden desarrollar actividades relativas a la generación núcleo-eléctrica mediante la creación de nuevas entidades jurídicas, con o sin participación de privados, aunque reducida únicamente al *front-end* del CCN, son las siguientes:

---

[93] En la legislación nacional no existe un concepto específico del término *joint-venture* y por lo mismo se hace necesario acudir a la doctrina para determinarlo.

[94] Fueyo Fernando, *Los Contratos de colaboración empresaria*, Santiago, Jurídica, Colección Cartillas, 1991, p. 25.

[95] López Santa-María Jorge. "Informe en Derecho sobre Contrato de Colaboración Empresarial", *Revista chilena de derecho privado*, Nº 2, Santiago, 2004, p. 109.

[96] Ver Confederación Nacional y Sindicatos de Empresas e Interempresas de Trabajadores del Transporte Terrestre y otros con Ministerio de Transporte y Empresa de Transporte de Pasajes Metro S.A. (1998), Corte de Apelaciones de Santiago, 28.4.1998, Corte Suprema (confirma) 14.5.1998 (rol 1.445-98), considerando N° 5 en adelante.

- La CCHEN, en virtud del inciso 2º del artículo 7 de la Ley 16.319, que como vimos autoriza a la Comisión a "realizar dicha producción [de energía nuclear] por sí o por medio o en unión de terceros".[97]

- CODELCO, empresa estatal que se encuentra autorizada a celebrar *joint-ventures* con firmas privadas para participar en dicha etapa del desarrollo de la energía núcleo-eléctrica[98].

- ENAMI, empresa estatal que también se encuentra autorizada a celebrar *joint-ventures* con firmas privadas según se indicó más arriba.

1.5. Participación del Estado en la minería del uranio y torio

La minería del uranio y del torio en Chile se rige en principio por las reglas generales contenidas en la CPR, en la Ley Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras (LOCCM) y en el Código de Minería (en adelante CM), salvo ciertas excepciones.

En concreto, el Artículo 15 de la LOCCM señala que *"[s]on de valor estratégico los productos minerales en los que el torio o el uranio tengan presencia significativa*". Agrega la misma disposición, que el Estado tiene un derecho de primera opción de compra respecto de estos minerales, al precio y modalidad habituales del mercado. Cabe tener presente sin embargo, que el carácter de mineral de valor estratégico del uranio y del torio no altera su naturaleza concesible. Con esto, el legislador ha buscado incentivar la exploración de estas sustancias y a la vez permitir al Estado aprovecharse de ellas, si así lo desea.

Ahora bien, de acuerdo al artículo 9 del CM se entiende que una sustancia tiene presencia significativa en un producto minero,[99] cuando esta puede ser "*reducida o separada desde un punto de vista técnico y económico"*. Si estos requisitos no se cumplen, debe estimarse que no existe presencia significativa y por tanto no es aplicable el derecho de primera opción de compra.

---

[97] Reiteramos nuestra aprensión respecto a la vigencia del DL 1.557 de 1976, que podría ampliar la capacidad de CCHEN para participar en *joint-ventures* con empresas privadas.

[98] Cabe hacer mención que, de acuerdo a lo señalado en el artículo 4 de la Ley 19.137 y tratándose de las hipótesis previstas en dicha ley, "CODELCO-CHILE proponderá, en la medida que las circunstancias lo permitan, atendido los volúmenes de inversión de las partes, la rentabilidad esperada y demás condiciones particulares de cada una de ellas, a tener una participación mayoritaria".

[99] El artículo 12 inciso final del CM define lo que se debe entender por producto minero como *"todo producto o sustancia mineral ya extraída, aunque no haya sido objeto de beneficio".* El mismo artículo define presencia significativa en un producto minero como la capacidad que posee el mineral de ser reducido o separado, desde el punto de vista técnico y económico, cuando el mayor costo total que implique su recuperación mediante procedimientos técnicos de probada aplicación, su comercialización u su entrega, sea inferior a su valor comercial.

A propósito de las modalidades que tiene el Estado para ejercer este derecho, es necesario distinguir si se trata de productos que se obtienen esporádicamente o productos cuya obtención es habitual, conforme lo señala el artículo 10 del CM.

En el primer caso, el productor deberá comunicar su obtención a la CCHEN a fin de que ésta pueda ejercer el derecho de primera opción de compra por cuenta del Estado. La comunicación deberá señalar la "*cantidad, calidad y demás características del producto, su precio de mercado, forma, oportunidad y lugar de su entrega"*. Esta comunicación además, constituirá una "*oferta de venta con un plazo de espera de tres meses a contar de la fecha de recepción de la comunicación y obligará a no disponer del producto durante ese plazo".*

Una vez recibida la oferta por la CCHEN, ésta puede tomar algunas de las siguientes alternativas: a) Aceptar la oferta, en cuyo caso deberá señalar un plazo no mayor de 2 meses contados desde la entrega para pagar el precio; b) rechazar la oferta libremente en todo o parte; c) no hacer nada, caso en el cual la oferta caduca después de tres meses; o, finalmente, d) pedir al juez dentro del plazo de tres meses de espera, que con citación del productor designe un experto que establezca el precio y las modalidades de la compraventa. En este caso, la Comisión tiene un mes contado desde la comunicación del experto que fija el precio para aceptar la oferta en todo o en parte, en los términos establecidos por él. Si no lo hace en ese plazo, la oferta caducará.

Si se trata de productos cuya obtención es habitual, en cambio, conforme al inciso 5° del citado artículo 10, "*su productor, a más tardar en septiembre de cada año, comunicará a la Comisión sus programas mensuales de producción estimados para el año calendario siguiente, a fin de que ésta pueda ejercer, por cuenta del Estado, el derecho de primera opción de compra".* Agrega la norma que "*[e]l productor también dará cuenta a la Comisión, de inmediato, de todas las variaciones que experimenten esos programas".* Esta comunicación deberá contener las mismas menciones indicadas en el inciso segundo del Artículo 10 y constituirá una *"oferta de venta con plazo de espera y obligará a no disponer del producto de cada mes hasta el último día del mes de su obtención"*.

Una vez recibida la comunicación, la CCHEN tiene las mismas opciones señaladas anteriormente. Si acepta la oferta, el precio de cada entrega se pagará dentro de los dos meses siguientes a ella.

Ahora bien, de acuerdo al Artículo 11 del CM, si el productor no cumple con las obligaciones relativas al derecho de primera opción de compra del Estado, podrá ser sancionado con una multa a beneficio fiscal, hasta por el valor de mercado de los productos de que se trate. La CCHEN será el órgano encargado de la aplicación de esta

multa y su resolución tendrá mérito ejecutivo. En caso de aplicar la multa, el afectado podrá deducir el reclamo correspondiente, ante la Corte de Apelaciones dentro del plazo de 10 días contados desde su notificación.[100]

En suma, el uranio y el torio si bien son minerales de "valor estratégico", ello sólo se traduce en el derecho de primera opción de compra por parte del Estado y no afecta su naturaleza concesible. Ello es, en todo caso, sin perjuicio de las facultades que el Artículo 8 de la Ley 16.319 reconoce a la CCHEN y que se analizan en la sección que sigue.[101]

2. La participación de firmas privadas sujetas a intervención regulatoria

2.1 Modelo Teórico

Tal como se diera cuenta en el punto 1.1 de este capítulo, en los últimos 30 años hemos pasado de un modelo de Estado prestador a uno de Estado regulador. En efecto, desde principios de la década de los ochenta, un número considerable de países del mundo occidental, entre ellos el nuestro, resolvieron privatizar un amplio conjunto de actividades económicas que hasta ese momento había permanecido en manos públicas, incluyendo la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Estas consideraciones generales en materia de participación estatal en la actividad económico-empresarial pueden verse con total claridad en el ámbito de la generación núcleo-eléctrica. En los esquemas recientes de desarrollo de generación a nivel mundial, el Estado ya no se involucra en forma exclusiva y excluyente en la materialización de inversiones en centrales nucleares de potencia como era el caso en el pasado.

Conceptualmente lo que se persigue es que los agentes privados opten por participar del mercado de generación eléctrica a partir de la adopción de la opción nuclear, en la medida que ella les resulte más competitiva que las otras alternativas de generación y, en razón de ello, asuman el riesgo asociado a su decisión. Esto obviamente es sin perjuicio de que se introduzcan subsidios u otros mecanismos que alteren el simple juego de la oferta y la demanda con el objeto de conseguir ciertas metas económico-sociales que se consideren valiosas y necesarias.

---

[100] Art. 11 del CM: "El incumplimiento de las obligaciones que le impone el artículo precedente sujetará al productor al pago de una multa, a beneficio fiscal, hasta por el valor de mercado de los productos de que se trate. Si el incumplimiento consiste en que ellos se han enajenado a terceros dentro del plazo en que la Comisión tiene el derecho de primera opción de compra, se aplicará precisamente el monto máximo de la multa".

[101] Ver Sección 2.4.1.

En general, como en todo esquema privado basado en las reglas del mercado, los incentivos económicos permitirían a la sociedad en su totalidad captar los beneficios de la inversión privada, especialmente una mayor eficiencia operativa y una menor probabilidad de que las decisiones de inversión y elección de tecnología no estén supeditadas a objetivos políticos. Adicionalmente, el modelo privado tiene la ventaja de ser consistente con la actual estructura del sector eléctrico chileno, que se encuentra privatizado y donde operan empresas internacionales que tienen experiencia nuclear en otros países.[102]

2.2 Derecho Comparado

Actualmente, el único país que cuenta con un programa de desarrollo núcleo-eléctrico bajo el modelo de propiedad privada plena es **Estados Unidos de Norteamérica** (EE.UU.), país que se caracteriza por tener una industria nuclear que se encuentra mayoritariamente en manos privadas en todo su ciclo de desarrollo.[103] No obstante, resulta importante señalar que el Estado no se ha mantenido ajeno a la actividad nuclear y ha cumplido un importante papel de promoción de la industria, tanto a través de franquicias tributarias (como las contenidas en la Energy Policy Act de 1992) como a través de incentivos a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. Además, tiene un importante papel regulador y fiscalizador, poseyendo en la actualidad el proceso más sistemático y detallado para la revisión y concesión de autorizaciones de explotación en el mundo.[104]

Otro ejemplo de modelo de empresa privada es el caso de **España**,[105] donde se entrega la propiedad y operación de las centrales nucleares a capitales privados. Actualmente operan centrales las compañías ANAV (empresa de participación conjunta conformada por ENDESA e Iberdola), CNAT y Nuclenor.[106] No obstante lo anterior, en España las restantes etapas de desarrollo de un programa de generación núcleo-eléctrica poseen una fuerte participación estatal. En primer lugar, la industria minera del uranio en España se encuentra suspendida —esto es, en periodo de estudio—, por lo que este mineral es importado desde el exterior por la estatal ENUSA, que a su vez posee el 10% de propiedad de empresas mineras en Nigeria.[107]

---

[102] Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants Limited, o*p.cit*., p. 174

[103] Como excepción se cita el caso de la propiedad que posee la Agencia para el desarrollo del Valle de Tennessee sobre una central nuclear. Caso citado en *ibídem.*

[104] Al respecto, ver *ibídem* y Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia (STUK), *Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional*, Santiago, CNE, 2009.

[105] Comisión Nacional de Energía de España, *Energía y Regulación*, Pamplona, España, 2007, pp. 246 y ss.

[106] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Spain*, WNA, 2009, pp. 1 y ss.

[107] Nuclear Legislation in OECD Countries, *Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Spain*, OECD, 2001, p. 17 y ss.

Enseguida, dado que no hay capacidad de conversión o enriquecimiento en España, ENUSA lo gestiona a través de EURODIF, 11% de su propiedad, la que posee plantas de enriquecimiento en Francia. Finalmente, el manejo y gestión de desechos se encuentra radicado en forma exclusiva y excluyente en la estatal ENRESA.[108]

Una situación similar se observa en **Alemania**, país en el cual la propiedad y operación de las centrales nucleares se encuentra en manos privadas, destacándose la multinacional E.ON Kernktaft con la propiedad y operación de 12 centrales. En lo que se refiere a los desechos radioactivos, el gobierno federal alemán, a través de la Federal Office for Radiation Protection (BfS),[109] es responsable de la construcción y operación de repositorios para el manejo y gestión de desechos nucleares, sin perjuicio de la facultad que posee el Estado Federal Alemán para licitar dicha actividad a empresas privadas, la que de hecho se encuentra encargada actualmente a la compañía privada DBE.[110]

2.3 Contexto Nacional: Normativa constitucional que garantiza la actividad económica privada

El modelo privado constituye una alternativa perfectamente viable en nuestro ordenamiento. Como ya hemos indicado, la principal norma que fomenta y garantiza la libre iniciativa privada en materias económicas, entre las que en principio cabría incluir la generación núcleo-eléctrica, se encuentra en el artículo 19 Nº 21 de la CPR y, de hecho, parte de la doctrina constitucional chilena extrae de ella uno de los principios que determinarían el llamado Orden Público Económico.

Aunque ya lo citamos anteriormente, el artículo 19 N° 21 inciso 1° asegura a todas las personas "el derecho a desarrollar cualquiera actividad económica que no sea contraria a la moral, al orden público o a la seguridad nacional, respetando las normas legales que la regulen". Por su parte, el inciso 2° de la misma norma, que autoriza al Estado a actuar empresarialmente sólo cuando una ley de quórum calificado lo autoriza, configura lo que para parte de la doctrina nacional —no toda ella— es una

[108] El artículo 128 N° 2 de la Constitución Española delega a la ley la reserva al sector público de recursos o servicios considerados esenciales. De conformidad a dicha disposición, el Artículo 6° bis de la Ley 54/1997, que regula el sector eléctrico, dispone lo siguiente: "La gestión de los residuos radiactivos, incluido el combustible gastado y el desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y radiactivas, constituye un servicio público esencial que se reserva, de conformidad con el artículo 128.2 de la Constitución Española, a la titularidad del Estado. Este servicio será gestionado directamente por la entidad pública empresarial ENRESA de gestión de residuos radiactivos, de acuerdo con el Plan General de Residuos Radiactivos aprobado por el Gobierno".

[109] Nuclear Legislation in OECD Countries, *Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Germany*, OECD, 2001, p. 23 y ss.

[110] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Germany*, WNA, 2009, p. 5.

verdadera declaración de primacía de la actividad económica privada por sobre la actividad empresarial del Estado.[111] / [112]

En nuestro ordenamiento legal, la libertad económica garantizada en el artículo 19 N° 21 no sólo se protege mediante el recurso de protección —establecido en el artículo 20 de la CPR—, sino también a través de una acción procesal especialmente creada al efecto. Dicha acción es el amparo económico, establecido por la Ley N° 18.971, que permite reclamar en contra de las vulneraciones del Estado al inciso 1° del numeral 21, como también en contra de la actividad empresarial estatal que vulnera el inciso 2°.

2.4 La actividad privada en el CCN

2.4.1 La actividad privada en la etapa previa del CCN o front-end y su relación con el derecho de compra preferente de la CCHEN

Dado el preliminar estado de desarrollo de la actividad de generación núcleo-eléctrica en nuestro país y dado su reconocido potencial minero, resulta importante enfocarnos en la fase que dice relación con la actividad minera de extracción del mineral base para la manufacturación posterior del combustible nuclear y las relaciones que habrían de darse entre el Estado y aquellos privados que pudieran participar de dicha extracción.[113]

En este sentido, y como se explicó precedentemente, el Artículo 10 del Código de Minería (CM) dispone que el Estado posee el derecho de primera opción de compra de los productos mineros originados en explotaciones mineras en los que el torio o el uranio tengan presencia significativa. De este modo, si bien no existen inconvenientes legales para que los particulares desarrollen actividades mineras que digan relación con la exploración, extracción y beneficio de sustancias minerales concesibles, entre ellas el torio y el uranio, el derecho de primera opción de compra que se reserva el Estado constituye un imperativo que los particulares no pueden incumplir.

---

[111] Aróstica Maldonado Iván, *op. cit*., pp. 77 y ss.

[112] Al respecto, la doctrina discute si en materia administrativa económica rige el llamado principio de subsidiariedad y en que esferas de la actividad económica opera. Así, STOBER señala que dicho principio operaría en la relación del poder público con el ciudadano de modo que se hace primar la acción económica de estos últimos en relación con la del poder público, caracterizándose esta como de ultima ratio, poniendo en primer plano la capacidad del individuo en los proceso de generación de recursos en vez de depender del poder público. En: Stober Rolf, Derecho Administrativo Económico, Madrid, Ministerio para las Administraciones Publicas, 1992, p. 103. Asimismo ver Ruiz-Tagle Vial Pablo, *op. cit*. pp. 48 y ss. y Aróstica Maldonado Iván, *ibídem.*

[113] Con todo, la implementación de alguno de los otros procesos que componen el *front-end* del CCN, necesariamente requerirá, por expreso mandato del Art. 4 de la Ley de Seguridad Nuclear, la autorización de la CCHEN para su emplazamiento, construcción y puesta en servicio de aquellas "instalaciones nucleares" que fueran parte integrante de dichos procesos.

Sin perjuicio de lo anterior, es importante tener presente que aún cuando el Estado no ejerza el derecho en comento, es necesario que los privados cuenten con una autorización adicional para aprovechar y comercializar aquellos minerales que se encuentran amparados por el derecho de primera opción de compra. Así lo establece el artículo 8° de la Ley 16.319 que crea la CCHEN:

> *Por exigirlo el interés nacional, los materiales atómicos naturales [uranio y torio] y el litio extraídos, y los concentrados, derivados y compuestos de aquéllos y éste, no podrán ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos sino cuando ellos se ejecuten o celebren por la Comisión Chilena de Energía Nuclear, con ésta o con su autorización previa. Si la Comisión estimare conveniente otorgar la autorización, determinará a la vez las condiciones en que ella se concede. Salvo por causa prevista en el acto de otorgamiento, dicha autorización no podrá ser modificada o extinguida por la Comisión ni renunciada por el interesado.*

De esta manera, como puede apreciarse, no basta para el ejercicio de la actividad de extracción que las firmas privadas respeten el derecho de opción de compra preferente que posee el Estado, sino que es necesario de manera adicional contar con una autorización especial para poder comercializar los minerales, sin la cual los actos o contratos que se celebren en función de ellos son nulos.

2.4.2 La actividad privada y el back-end del CCN

Ahora bien, tal como sucede en la etapa previa del CCN, el Derecho chileno permite que ésta pueda ser realizada íntegramente por privados, quienes llevan a cabo la actividad bajo la supervisión y regulación del Estado, ya sea a través de la CCHEN o del reciente creado Ministerio de Energía.[114]

Los privados, para el otorgamiento de las autorizaciones que sean necesarias, deberán considerar no sólo el desarrollo de la actividad en sí misma y su peligrosidad, sino que también todas aquellas condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación.

A este respecto, el artículo 4 inciso 1º de la Ley N° 18.302 de Seguridad Nuclear establece que:

[114] De acuerdo al artículo 5º de la Ley 20.402 que Crea el Ministerio de Energía, "Sustitúyase en la ley Nº 18.302, Ley de Seguridad Nuclear, en todas las disposiciones en que se encuentra, la palabra "Minería" por "Energía"".

> *Para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento, en su caso, de las instalaciones, plantas, centros laboratorios, establecimientos y equipos nucleares y para el ingreso o tránsito por el territorio nacional, zona económica exclusiva, mar presencial y espacio aéreo nacional de sustancias nucleares o materiales radiactivos se necesitará autorización de la Comisión [CCHEN], con las formalidades y en las condiciones que se determinan en esta ley y en sus reglamentos. Las centrales nucleares de potencia, las plantas de enriquecimiento, las plantas de reprocesamiento y los depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos, deberían ser autorizados por decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía.*[115]

Cabe asimismo mencionar una importante restricción que agrega el Artículo 4° inciso 3° de la Ley de Seguridad Nuclear en materia de gestión de desechos radioactivos: "No podrá autorizarse el almacenamiento de desechos nucleares o radiactivos en territorio nacional, salvo que se produzcan u originen en él".

2.5 La actividad privada en la generación eléctrica

El mercado eléctrico se encuentra dividido en tres segmentos: generación eléctrica y de potencia, transmisión eléctrica y distribución y venta de energía eléctrica. Para efectos del presente informe, el segmento relevante es el de generación de energía eléctrica. A continuación se revisan las normas del sector eléctrico que aplicarían a una planta de generación núcleo-eléctrica.

[115] Cabe agregar que, de conformidad con el artículo 3° N° 9 de la misma ley, la expresión "instalación nuclear" incluye: "• Los reactores nucleares, salvo los que se utilicen como fuente de energía en un medio de transporte, tanto para su propulsión como para otros fines. • Las fábricas que utilicen combustibles nucleares para producir sustancias nucleares y las fábricas en que se proceda al tratamiento de sustancias nucleares, incluidas las instalaciones de reprocesamiento de combustibles nucleares irradiados. • Los depósitos de almacenamiento permanente de sustancias nucleares o radiactivas, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte". Al respecto, la OIEA, señala un catalogo más exhaustivo de lo que son las instalaciones nucleares, quedando comprendidas entre ellas: (a) Las plantas de enriquecimiento y de fabricación de combustible; (b) las centrales nucleares; (c) otros reactores (tales como reactores de investigación y conjuntos críticos); (d) las plantas de reprocesamiento de combustible gastado; (e) todas aquellas instalaciones de gestión de desechos radiactivos (tales como instalaciones de tratamiento, almacenamiento y disposición final); (f) las instalaciones nucleares y de irradiación con fines médicos, industriales y de investigación; (g) y todas aquellas instalaciones de clausura o cierre de instalaciones nucleares y rehabilitación de emplazamientos. En: OIEA, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA, Infraestructura Legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radioactivos y del transporte*, Viena, 2004, p. 2.

2.5.1. Concesión administrativa voluntaria

En la actualidad, el mercado de generación eléctrica nacional se encuentra parcialmente desregulado. Esto significa, en primer lugar, que cualquier privado puede participar en el mercado de la generación eléctrica, cualquiera sea el tamaño o capacidad de generación de sus respectivas centrales[116] y sin necesidad de requerir de una concesión —provisional o definitiva— al efecto. Como explica Vergara Blanco:

> *[L]a generación de energía eléctrica no constituye un servicio público, no está sometida a su estatuto especial (obligatoriedad, etc.), y puede ser llevada adelante sin previa concesión, cuya publificación, en el sentido de considerar servicio público a la generación, ha desaparecido hoy en la legislación.*[117]

Por excepción, la Ley General de Servicios Eléctricos, DFL N° 4 de 2006 (LGSE)[118], establece que únicamente las firmas que operen centrales hidráulicas productoras de energía eléctrica pueden, si así lo desean, solicitar concesión a la Autoridad. Específicamente, el Reglamento de la LGSE señala expresamente en su artículo 8 que:

> *Se podrán otorgar, además, concesiones para establecer centrales hidráulicas productoras de energía eléctrica, subestaciones eléctricas y líneas de transporte de energía eléctrica. / No obstante, las centrales hidráulicas, las subestaciones eléctricas y las líneas de transporte podrán instalarse sin solicitar concesión, cuando el interesado así lo desee.*

Cabe mencionar aquí el caso especial de la Ley N° 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica. Dicha ley dispone que la energía geotérmica es un bien del Estado susceptible de ser explorado y explotado, previo otorgamiento de una concesión de dominio público (no de servicio público), en la forma y con cumplimiento de los requisitos previstos en la misma (Artículo 4° de la Ley 19.657). Así, se trata también de una actividad *publificada* sujeta a un estatuto de Derecho público especial, en lo que respecta al acceso a la actividad. Ahora bien, el artículo 9° de la Ley 19.657 se remite a la LGSE, "*en lo que fuere pertinente*", en materia de producción, transporte, distribución,

---

[116] Al respecto, ver el Decreto Supremo N° 244 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que aprueba el reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos en la LGSE.

[117] Vergara Blanco Alejandro, *Derecho eléctrico*, Santiago, Editorial Jurídica, 2004, p. 74.

[118] El estatuto principal que regula la generación eléctrica en nuestro país se encuentra contenido en el Decreto con Fuerza de Ley N° 4, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del DFL N° 1, de Minería, de 1982, que establece la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE). Asimismo, dicho cuerpo legal, necesariamente debe entenderse complementado por el Decreto Supremo N° 327 del Ministerio de Minería, que fija el Reglamento de la LGSE.

régimen de concesiones y tarifas de la energía eléctrica derivada de la energía geotérmica, así como las funciones del Estado relacionadas con ella.

Las ventajas de contar con una concesión administrativa eléctrica conforme a la LGSE son diversas. La generación energética, sin concesión, no cuenta con los beneficios de "utilidad pública" que conlleva el título concesional y queda por ello limitada en sus alcances al aprovechamiento de los inmuebles propios.[119] Así, las firmas que no cuentan con concesión deberán obtener los permisos que sean necesarios para usar y cruzar bienes nacionales de uso público y en cuanto a los terrenos privados, deberán constituir las servidumbres voluntarias que se requieran al efecto.[120]

Por el contrario, la generación de energía eléctrica con concesión provisional permite practicar, tanto en suelo público como privado y público, mediciones y estudios.[121] Por su parte, la generación con concesión definitiva, cuando se trata de bienes privados de terceros, permite imponer servidumbres forzosas[122] y cuando se trata de bienes nacionales de uso público, otorga el derecho a ocuparlos y a atravesarlos[123] sin necesidad de ningún otro título ni autorización de otra autoridad, y en las mismas condiciones que las concesiones de distribución de energía eléctrica.[124]

Cabe señalar que sólo pueden solicitar concesiones para la generación de energía eléctrica personas naturales y jurídicas chilenas. Según el Artículo 13 de la LGSE "las concesiones eléctricas sólo podrán otorgarse a ciudadanos chilenos y a sociedades constituidas en conformidad a las leyes del país", aunque excluyéndose a las sociedades en comandita por acciones.[125]

2.5.2. Regulación de despacho y de precios

En segundo lugar, el mercado de generación chileno se encuentra parcialmente desregulado por cuanto existe competencia y ella determina en cierto grado los incentivos a los que están afectos los actores económicos. Por otra parte, en este mercado, si bien existen barreras de entrada, ellas no hacen imposible el proceso competitivo.[126]

---

[119] Vergara Blanco Alejandro, "Estatuto general y principios del servicio público eléctrico chileno", *Derecho de la Energía*, 2006, pp. 849 y ss.
[120] Art. 14 y 50 LGSE y Art. 12 de su Reglamento.
[121] Art. 22 LGSE.
[122] Art. 14 y 50 LGSE y Art. 12 de su Reglamento.
[123] Art. 50 y 54 LGSE.
[124] Vergara Blanco, Alejandro, *loc. cit*.
[125] Misma disposición se contempla en el Art. 9 de la LGSE.
[126] No obstante, importante es señalar que nuestro TDLC ha señalado como barreras de entrada, en proyectos de generación eléctrica de similares características de instalación, requerimiento y envergadura a un proyecto de generación núcleo-eléctrica, los siguientes: (a) el acceso a derechos de

Ahora bien, la desregulación es parcial, porque de todos modos el Estado mantiene un importante rol regulador. Entre los aspectos más notorios de la regulación a la que está sometida la generación, cabe mencionar primeramente el sistema de despacho. El mercado de la generación posee un sistema de despacho centralizado según "orden de mérito". Esto es, una vez hecha la inversión y escogido el tamaño de la central y la tecnología a utilizar, son pocas las decisiones que puede tomar el productor respecto de la cantidad generada por su unidad.

En efecto, la LGSE y su Reglamento —D.S. N° 327/1997, de Minería— ordenan que un ente centralizado (Centro de Despacho Económico de Carga, CDEC) tome la decisión de cuánto debe producir cada planta generadora en cada momento en el tiempo. De esta forma, la demanda es, en todo momento, satisfecha por las plantas de menor costo marginal y las centrales menos eficientes operarán sólo en períodos de alta demanda.[127]

Así, cada sistema eléctrico con capacidad instalada igual o superior a 200 MW —capacidad muy por debajo del potencial de generación de un programa de generación núcleo-eléctrica— coordinará su operación a través de dicho Centro. En consecuencia, el CDEC es el organismo encargado de determinar la operación del conjunto de instalaciones del sistema eléctrico, incluyendo las centrales eléctricas generadoras, líneas de transmisión a nivel troncal, sub transmisión y adicionales; subestaciones eléctricas, incluidas las subestaciones primarias de distribución y barras de consumo de usuarios no sometidos a regulación de precios abastecidos directamente desde instalaciones de un sistema de transmisión. El objetivo es que el costo del abastecimiento eléctrico del sistema sea el mínimo posible, compatible con los niveles de confiabilidad prefijada (Art. 225 b) LGSE).[128]

Las órdenes del CDEC son obligatorias e independientes de los contratos de comercialización de cada empresa. Por ello, y sin perjuicio de posibles contratos de cobertura de riesgos (*hedging*) entre empresas generadoras —en su rol de comercializadoras—, es frecuente que existan transferencias entre generadores *excedentarios* y *deficitarios*, las que se valoran al costo marginal instantáneo del sistema. Esta separación entre despacho y contratos permite que el sistema minimice el costo

aguas (sin perjuicio de que para el caso en comento, el recurso hídrico era necesario como fuente de generación base y no como fuente de enfriamiento como lo es en el caso de reactores nucleares), (b) el tiempo de instalación de las centrales. (c) inversiones hundidas, (d) costos de salida por contratos de suministro de largo plazo, y (e) el acceso a líneas de transmisión. Al respecto ver la Sentencia N° 22 del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia, considerando 8.2, p. 43.

[127] Sentencia N° 22 del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia, considerando 6°, p. 32.

[128] Art. 2 del Decreto Supremo N° 291 de 2008 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que aprueba el Reglamento que establece la estructura, funcionamiento y financiamiento de los CEDEC.

total de producción.[129]

Otro aspecto relevante de la normativa a la que se encuentra afecta la generación eléctrica se refiere a la regulación de precios. Si bien las firmas generadoras pueden comercializar su energía libremente con los llamados "clientes libres" (aquellos cuyo consumo es mayor a 500 KW), estas firmas se encuentran obligadas a vender a las empresas distribuidoras a "precio nudo" (de corto o largo plazo), precio que, respecto de su componente de potencia, siempre es fijado por la CNE semestralmente tanto para el Sistema Interconectado Central (SIC) como para el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). Respecto del precio de la energía, para el caso de contratos celebrados entre generadoras y distribuidoras antes de la dictación de la Ley N° 20.018, éstos se rigen por el precio de nudo de corto plazo fijado por la CNE semestralmente. Para aquellos contratos de suministro celebrados con posterioridad a dicha fecha, vale decir, desde las licitaciones efectuadas el año 2006, el precio de la energía es aquel que resulta de una licitación por precio convocada por las distribuidoras, con plazos máximos de duración de hasta 15 años.[130]

Finalmente, en términos de restricciones regulatorias, cabe mencionar la prohibición de integración vertical. Las empresas operadoras o propietarias de los sistemas de transmisión troncal no pueden dedicarse, por sí, ni a través de personas naturales o jurídicas relacionadas, a actividades que comprendan en cualquier forma el giro de generación de electricidad.[131]

2.5.3. Autoridades que intervienen en el proceso regulatorio

A modo de referencia, conviene tener presente los distintos entes públicos que tienen competencias en materia de energía eléctrica y que ejercerían potestades sobre una empresa cuyo giro sea la generación núcleo-eléctrica. Sin perjuicio de un tratamiento más profundo en la sección sobre regulación y fiscalización, las autoridades que

[129] Díaz Carlos, Galetovic Alexander y Soto Raimundo, *La crisis eléctrica de 1998 – 1999, Causas, Consecuencias y Lecciones*, Santiago, 2000, p. 7.

[130] Este precio es aquel regulado por la autoridad sectorial para la compra de energía y potencia por parte de las distribuidoras a las compañías generadoras de energía, destinadas a abastecer a los consumidores regulados. El "precio de nudo" se establece a partir de un cálculo estimado del costo marginal de suministro de las compañías de generación eléctricas y se encuentra construido sobre la base de previsiones de demandas de potencia de punta y energía del sistema eléctrico para cada trimestre. También se consideran las características del parque de centrales existentes, el programa de construcción de nuevas centrales de generación, la cantidad de agua que hay en los embalses, los costos de racionamiento y la tasa de actualización. Así, el "precio de nudo" están constituidos por el precio básico de la energía y el precio básico de la potencia de punta. El primero, es el promedio a lo largo del tiempo de los costos marginales de energía del sistema eléctrico operando a mínimo costo actualizado de operación y de racionamiento y el segundo, corresponde a un promedio ponderado de los costos marginales previstos para los cuatro años siguientes. Al respecto ver http://bit.ly/ah3F0o

[131] Art. 7 LGSE.

intervienen en el proceso regulatorio de la generación eléctrica son los Centros de Despacho Económico de Carga ("CDEC"), la Comisión Nacional de Energía, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y el recientemente creado Ministerio de Energía.

2.6. Acuerdos de cooperación privada en el desarrollo de proyectos de generación núcleo eléctrica

2.6.1. Los acuerdos de colaboración entre competidores ante la libre competencia

La generación núcleo-eléctrica, en sus distintas fases, exige de una enorme inversión privada. Tanto la construcción, operación y desmantelamiento de una planta de generación núcleo-eléctrica son proyectos de gran envergadura y con enormes costos hundidos. Dadas estas características, no resulta extraño suponer que dos o más firmas privadas, a fin de distribuir de manera más eficiente los riesgos, se vean en la necesidad de unirse para desarrollar la empresa respectiva en forma conjunta.

En materia de costos cabe tener presente que mientras en las centrales a carbón o gas el costo en combustibles tiene gran incidencia, alcanzando aproximadamente el 40% y 75% del *Levelized Cost of Electricity* (LCOE),[132] respectivamente, en el caso de la generación núcleo-eléctrica gran parte de los estudios sitúan el peso de la inversión del proyecto en torno al 70% del LCOE, haciendo dicho índice especialmente sensible al monto de inversión en construcción y también a la tasa de descuento utilizada.[133]

Por otra parte, es necesario tener presente que la generación de energía eléctrica en nuestro país se encuentra en manos de un grupo reducido de compañías. El índice *Herfindahl-Hirschman* (HHI)[134] para el año 2008 era de 2964,86[135] lo que indica que se trata de un mercado altamente concentrado.[136] Dada la existencia de dichos niveles de

[132] El *Levelized Cost of Electricity* o LCOE, constituye un mecanismo de evaluación económica de los costos de generación eléctrica de una determinada matriz, que incluye todos los costos involucrados en su periodo de vida, como lo es la inversión inicial, su operación, mantenimiento, costo del combustible y costo de capital, constituyéndose en un índice a partir del cual se determina el precio mínimo al cual una unidad de energía debe ser vendida para que el proyecto se mantenga sin perdidas ni ganancias.
[133] Charlin Daniel y Müller Heinz, "Modelo de Negocios de una Planta Nuclear", *Investigación realizada para el curso de Mercados Eléctricos*, Santiago, Departamento de Ingeniería Eléctrica PUC, 2009.
[134] Índice de medición de concentración de mercados, que se calcula mediante la suma de los cuadrados de las participaciones de las distintas compañías participantes del mercado (en porcentaje) y en donde el índice máximo atribuido a una situación de monopolio es de 10.000.
[135] Urrutia Lorenzo, "Concentración de la propiedad en el mercado de generación eléctrica en Chile", *Investigación realizada para el curso de Mercados Eléctricos II*, Santiago, Departamento de Ingeniería Eléctrica PUC, 2009, p. 13.
[136] Fiscalía Nacional Económica, *Guía interna para el análisis de operaciones de concentración económica*, 2006, p. 15. Disponible en línea URL: http://www.fne.cl/?content=guia_investigacion

concentración, estamos frente a un mercado oligopólico, y ello debe tenerse presente a efectos de analizar acuerdos de cooperación económica entre competidores.

Los acuerdos de cooperación o colaboración entre competidores no son lo mismo que las fusiones. En el Derecho comparado, tales tipos de acuerdos están sujetos a reglas particulares muy diversas a las que rigen las fusiones (en Chile no se han dictado tales reglas particulares). Como señalan Errázuriz y Agüero, el hecho que "se califique a una operación de colaboración como una de concentración no resulta baladí, porque obliga a someter al análisis de una fusión a algo que puede no ser tal tipo de operación".[137] Por ejemplo, un error semejante provocaría que, de acuerdo a los criterios establecidos por la Guía de Fusiones de la Fiscalía Nacional Económica (FNE), se pueda imponer "el deber de probar eficiencias, que puedan ser cuantificadas y verificables, antes de determinar el posible efecto anticompetitivo, lo cual puede forzar a probar y cuantificar eficiencias incluso donde no hay lesión a la competencia".[138]

A continuación analizaremos con mayor detalle la naturaleza y características de estos acuerdos de colaboración y las reglas específicas conforme a las cuales deben ser evaluados desde la perspectiva de la libre competencia (regulada en Chile en el DL 211 de 1973).

2.6.2. *Joint-ventures* privado-privado

Un *joint-venture*, empresa en común o en participación, se define como un emprendimiento de negocios por el cual dos o más personas se asocian en un proyecto único.[139] Así, en palabras de Hovenkamp, un *joint-venture* es cualquier asociación de dos o más empresas para llevar a cabo una actividad que las mismas firmas podrían haber desarrollado solas, ya sea comprando en el mercado o no.[140]

Para estar en presencia de la figura en comento, con independencia de la forma jurídica que esta adopte, se necesita de la presencia de los siguientes requisitos:[141]

- Un acuerdo expreso
- Un objetivo común que la asociación quiera llevar a cabo

[137] Errázuriz José Tomas y Agüero Francisco, "Tratamiento de los acuerdos de cooperación empresarial ante el derecho de la competencia. ¿Cuándo un *joint venture* es una concentración?", *Revista Anales Derecho UC Temas de Libre Competencia*, 2007, N° 2, Santiago, Chile, p. 187.
[138] *Ibídem*, p. 187.
[139] *Ibídem*, p. 164.
[140] Citado en *Ibídem*, p. 165
[141] *Ibídem*, p. 164

- Ganancias y perdidas compartidas

- Que cada miembro de la asociación tenga igual derecho a voz en el control del proyecto (control conjunto)

En cuanto a su configuración, los *joint ventures* pueden ser clasificados entre aquellos que toman forma societaria —esto es, que gozan de personalidad jurídica— y aquellos que adoptan formas meramente contractuales.[142]

Entre los beneficios privados de la cooperación, que también corresponden a beneficios sociales o eficiencias (efectos pro-competitivos), tradicionalmente se señala que un *joint venture* permite:[143]

- Reducir los costos de producción de bienes o servicios (al alcanzar economías de escala o de alcance en la producción, adquisiciones o logística)

- Producir bienes y servicios más valiosos para los consumidores, o que llegan antes al mercado de lo que hubiera ocurrido sin mediar la colaboración.

- Aumentar la capacidad de producción, facilitar el ingreso a nuevos mercados

- Compartir los riesgos asociados con inversiones con demanda incierta, o que involucren aspectos tecnológicos.

- Permitir sinergias que surjan entre las partes al tener habilidades o activos complementarios.

Ahora bien, por el lado de las desventajas de un *joint-venture* (efectos anticompetitivos) se señalan las siguientes:[144]

- Que una operación de colaboración puede ser potencialmente contraria a la libre competencia si tiende a subir los precios o reducir las cantidades producidas, calidad, servicio o innovación bajo los niveles que hubieran existido sin el acuerdo de cooperación.

- Los acuerdos de cooperación pueden facilitar acuerdos colusorios entre competidores, facilitando prácticas tales como intercambiar o revelar

[142] Biaggini P.A. y Asplindh H.A., "Joint Venture y el control preventivo d efusiones y adquisiciones en el derecho argentino", *Boletín latinoamericano de competencia, N° 14*, 2002, p. 3.
[143] Errázuriz José Tomas y Agüero Francisco, *op. cit.*, p. 168.
[144] *Ibídem*, p. 168 y 169.

información comercialmente sensible, o mediante un aumento en el poder de mercado.

- Si las decisiones de venta y producción de la empresa en participación fueran independientes de las empresas matrices del *joint-venture*, si ésta transfiere su producción a aquellas a precios excesivamente altos, vía precios de transferencia, habría una práctica anticompetitiva en dicha renta monopólica.

Como podrá desprenderse de todo lo dicho, es factible que un proyecto de desarrollo de un programa de energía nuclear de potencia pueda ser llevado a cabo mediante la asociación de dos o más empresas competidoras en el mercado de la generación, que operen actualmente en el país o no, a fin de soportar y distribuir de manera más eficientes los grandes riesgos que un proyecto de estas características supone. Esto, siempre y cuando se resguarde el proceso competitivo, disminuyendo los potenciales efectos anticompetitivos que la creación de dicho acuerdo de cooperación eventualmente pudiera generar.

A este respecto, adquiere especial relevancia el proceso de consulta no contencioso establecido en el artículo 18 número 2 del Decreto Ley 211, el cual establece la potestad que posee el TDLC para "conocer, a solicitud de quien tenga interés legítimo, o del Fiscal Nacional Económico, los asuntos de carácter no contencioso que puedan infringir las disposiciones de la presente ley, sobre hechos, actos o contratos existentes, así como aquellos que le presenten quienes se propongan ejecutarlos o celebrarlos, para lo cual, en ambos casos, podrá fijar las condiciones que deberán ser cumplidas en dichos hechos, actos o contratos".

2.6.3. Un caso fundamental en Chile: el "Proyecto Aysén"

2.6.3.1. El Proyecto Aysén[145]

Dada la falta de regulación expresa en Chile en relación a la colaboración entre competidores (salvo la descripción incluida en el Auto Acordado N° 12/2009 del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia), resulta muy difícil determinar en forma abstracta y general los requisitos que se imponen a esta clase de *joint-ventures.*

Ahora bien, dadas las características del proyecto de generación núcleo-eléctrica, tanto desde el punto de vista de sus costos como de su implementación, creemos importante detenernos en el análisis de la Resolución N° 22 del año 2007 del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia (TDLC). En dicha Resolución, el TDLC resolvió las consultas formulada por ENDESA y Colbún S.A. en orden a determinar si la

[145] Resolución 22 del TDLC, parte expositiva 2.1.1, pp. 2 y ss.

construcción y operación conjunta por parte de ambas firmas, del denominado "Proyecto Aysén", constituiría o no un acto contrario a la libre competencia.[146]

La operación conjunta de dicho proyecto se materializaría a través de la constitución de una sociedad anónima cerrada, sujeta a las normas de las sociedades anónimas abiertas, y en donde 51% de propiedad de la misma correspondería a Endesa y 49% a Colbún. De acuerdo a los términos acordados por las empresas generadoras, la comercialización de la energía producida por las centrales sería realizada en forma independiente y libre por cada empresa, delimitando su asociación sólo a la producción de ésta, la que sería transferida directamente por la nueva sociedad común a Endesa y Colbún, a prorrata de sus participaciones accionarias, a un precio equivalente al costo marginal del sistema o a otro precio de largo plazo que acordaren las partes si fuere necesario.

2.6.3.2. Efectos sobre la competencia[147]

Tal como se dijera anteriormente, el funcionamiento del mercado de la generación eléctrica en nuestro país se basa en la competencia existente entre los distintos actores que intervienen en el mismo. Por ello es que, en concepto del TDLC, dado que la operación consultada por ENDESA y Colbún no representaba un caso de concentración horizontal propiamente tal, sino una operación de colaboración, era pertinente poner acento en el riesgo de coordinación anticompetitiva que pudiere generar el proyecto en comento y en la forma como habrían de minimizarse tales riesgos.

Así, de acuerdo con el mérito de los antecedentes aportados por los distintos intervinientes en el proceso de consulta, el TDLC fijó el foco de su análisis en los siguientes efectos potenciales que el "Proyecto Aysén" tendría sobre la competencia del mercado de la energía eléctrica y potencia generada y transada en el Sistema Interconectado Central.[148]

- Riesgo de colusión o coordinación entre ENDESA y Colbún para la postergación de inversiones de generadores de base: La colusión, en términos simples, es un acuerdo entre dos competidores destinado a reducir la rivalidad entre las

[146] Resolución disponible en línea en URL http://www.fne.cl/?content=resoluciones_tdlc. Debemos destacar que lo consultado no fue el Proyecto Aysén en sí mismo. Más específicamente, el proyecto en análisis dice relación con el desarrollo y ejecución conjunta, por parte de las empresas generadoras de energía ENDESA y Colbún, de todas las tareas vinculadas al financiamiento, construcción y operación de dos centrales hidroeléctricas en el río Baker, dos centrales hidroeléctricas en el río Pascua, y una central hidroeléctrica en el río Del Salto, por un total aproximado de 2.355 MW instalados, los que al año 2018 (época en que estarían todas operando) generarían entre un 13% a 15% de la capacidad total del Sistema Interconectado Central.
[147] Resolución 22 del TDLC, considerando 9°, pp. 57 y ss.
[148] Para la determinación del mercado relevante en la causa, *ibídem*, considerando 7°, pp. 35 y ss.

firmas.[149] Actuando de forma concertada, las firmas buscan obtener rentas económicas, habitualmente por la vía de subir los precios o reducir la producción. En el caso en comento, lo que el TDLC analizó es la posibilidad de que en virtud de la concentración en el mercado de generación, el *joint-venture* pueda facilitar el actuar coordinado de las firmas, permitiéndoles postergar inversiones más allá del óptimo social, ello por cuanto los inversionistas no sólo tomarán en cuenta la rentabilidad de la inversión por sí misma, sino también la manera en que la consecuente reducción en precios puede afectar la rentabilidad de sus inversiones pasadas. El problema en el caso en análisis era particularmente sensible ya que la inversión propuesta la harían en conjunto los dos principales oferentes del mercado.

- Riesgo de disminución de la rivalidad competitiva entre Endesa y Colbún: Este factor podría afectar tanto la neutralidad de la operación del sistema, a través de la modificación de los Manuales de Procedimiento del CDEC-SIC, o bien la entrega de información que altere el mecanismo de despacho eficiente, lo que sería posible dada una disminución de la intensidad del monitoreo mutuo, como el riesgo de disminución de intensidad de la competencia en las licitaciones de suministro para clientes libres.

- Riesgo de utilizar el precio de transferencia entre Hidroaysén y ENDESA y Colbún como medio de compensación entre éstas.

- Riesgos por concentración en la titularidad de derechos de aprovechamiento de aguas con aptitud hidroeléctrica, toda vez que ENDESA y Colbún no sólo concentran más del 90% de los derechos otorgados con capacidad hidroeléctrica en la zona, sino que, además, mantienen solicitudes pendientes por al menos 948 m3/s en las principales cuencas de la Región de Aysén.

2.6.3.3. Decisión del TDLC[150]

No obstante los riesgos anticompetitivos detectados, el TDLC decidió aprobar la operación de colaboración sometida a su consideración, no sin antes sujetar su desarrollo a importantes condiciones, tales como:[151]

- Establecimiento de periodos de recepción de solicitudes de terceros interesados en disponer de capacidad de transmisión (es decir, el TDLC

[149] Tapia Javier, Carácter Anticompetitivo de los acuerdos restrictivos de la competencia en el sector retail, *Libre Competencia y Retail*, Santiago, Legal Publishing, en prensa, pp. 6 y ss.
[150] Resolución 22 del TDLC, parte resolutiva, pp. 74 y ss.
[151] López Andrés, "Resolución N° 22 sobre proyecto de Hidroaysén", *Investigación realizada para el curso de Regulación de Servicios Públicos,* Facultad de Derecho, Universidad de Chile, Santiago, 2009.

establece la obligatoriedad de abrir un proceso de *open season* por el plazo de seis meses), en donde dichos contratos deberán ser públicos, y no podrán establecer limitaciones ni restricciones para que la empresa de transmisión disponga —en caso de existir terceros con disposición a pagar por ello, o que la propia empresa de transmisión esté dispuesta a asumir su costo—, el diseño y construcción de la línea con una capacidad superior a la requerida por HidroAysén, o para ampliaciones de la misma.

- Con a lo menos dos meses de antelación al vencimiento del periodo señalado para el *open season*, el TDLC le establece la obligación para ENDESA y Colbún de haber enajenado o renunciado a los derechos de aprovechamiento de aguas de que sean titulares directos o a través de sus filiales, relacionadas o coligadas, así como a las solicitudes pendientes de éstos, en las cuencas de los ríos Palena y Aysén, y en la subcuenca del río Ibáñez, no pudiendo efectuar dicha enajenación a personas naturales o jurídicas filiales, coligadas ni relacionadas con cualquiera de las consultantes, sea directa o indirectamente. Asimismo, se establece la obligación de que Hidroaysén S.A., o sus filiales, coligadas o relacionadas, según corresponda, deberán consultar ante el Tribunal en forma previa a la adquisición o solicitud de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas en las cuencas señaladas anteriormente hasta la fecha de entrada en servicio de la última central del proyecto consultado.

- ENDESA y Colbún deberán presentar a la Fiscalía Nacional Económica los contratos definitivos de compraventa de energía y potencia de Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A. que contengan la definición del precio de transferencia entre éstas. Este precio deberá ser establecido o bien como centro de costos, o bien de forma horaria en relación a la transmisión instantánea de energía y sobre la base de los porcentajes establecidos en el Pacto de Accionistas suscrito entre ENDESA y Colbún.

- Centrales Hidroeléctricas de Aysén S.A. deberá mantenerse como sociedad anónima abierta o cerrada sujeta a las normas de las sociedades anónimas abiertas, mientras Endesa y Colbún mantengan participaciones accionarias en ella.

2.6.3.4. Consideraciones finales

Del detalle y análisis de la resolución N° 22/2007 del TDLC que se ha analizado en los puntos anteriores, es posible observar cómo la actividad de generación eléctrica, no obstante desregulada, dado lo concentrado del mercado mismo se ve "regulada" por las decisiones del tribunal tutelar de la libre competencia.

Tanto es así, que dicho Tribunal, en ejercicio de sus potestades, no sólo se aboca a normar el funcionamiento del mercado mismo (e. g. al establecer condiciones de oferta como lo es el *open season*), sino que además "regula" el modelo de negocios utilizado por los privados que someten a su consideración el proyecto de colaboración o cooperación que pretenden llevar a cabo (e.g., al establecer la obligación de venta de activos dentro de un determinado plazo).

Por ello es que consideramos relevante el análisis del caso propuesto, toda vez que deja de manifiesto que, sin perjuicio de la importante esfera de autonomía que poseen los privados para desarrollar proyectos de generación eléctrica (como lo son aquellos basados en la utilización de centrales nucleares de potencia), dado el elevado nivel de concentración que se observa en dicho mercado, no es posible abstraerse de la "regulación" que puede desprenderse de los fallos del TDLC.

3. Modalidades de Participación Pública-Privada

3.1. Modelo Teórico

La participación de los privados en las distintas etapas de vida del ciclo de generación núcleo-eléctrica puede ser estructurada no sólo bajo un esquema de propiedad y operación privada sujeta a regulación (ya analizada en la sección anterior), sino también conforme a esquemas de participación público-privadas (PPP) de tipo concesional (el llamado *joint-venture* PPP ya lo hemos analizado previamente con ocasión de la participación del Estado en actividades empresariales).

Estos esquemas incentivan las uniones de largo plazo entre el sector público y el sector privado en búsqueda del beneficio común, llegando a constituirse hoy en el mecanismo jurídico fundamental en los programas de modernización gubernamental. Esto, por cuanto es a través de estos esquemas que se ha logrado el desarrollo de servicios públicos de mayor calidad en algunos sistemas, atrayendo a ellos más inversión, desarrollo y un mejorada administración.[152]

Como explica Yescombe, los esquemas de PPP se caracterizan por los siguientes elementos:

- La existencia de un contrato de largo tiempo entre un organismo público y una firma privada.[153]

[152] Para un acabado análisis de la implementación y desarrollo de estos esquemas en el Reino Unido ver HM Treasury of Great Britain, *Public Private Partnerships: The Government's Approach*, Londres, Her Majesty's Stationery Office, 2000, disponible en http://www.hm-treasury.gov.uk/d/80.pdf

[153] Para un amplio catálogo de modelos de participación público – privada, utilizados en el Reino Unido, ver i*bídem*, pp. 46 y ss.

- El objeto de dicho contrato corresponde al diseño, construcción, financiamiento y/o operación de una infraestructura pública por parte de la firma privada.
- Los pagos a la firma privada se realizan durante toda la vida del contrato, ya sea por parte del Estado o de los usuarios de la infraestructura pública.
- Y, la propiedad de la infraestructura permanece en manos estatales o revierte al Estado al final del contrato.[154]

Debe notarse que la palabra "participación" (o, en inglés, *partnership*) tiene un significado eminentemente político y no técnico-jurídico, toda vez que los actores no-gubernamentales "participan" en la prestación de servicios tradicionalmente otorgados por servicios públicos, esto con el objeto de mejorar la actuación pública en la creación de lo que en doctrina anglosajona conoce como *public value*.[155] Jurídicamente, el desarrollo de proyectos bajo un esquema de PPP se traduce en la celebración de un contrato o concesión conforme al cual la administración exige de los privados un cierto nivel de resultados prestacionales de servicio público (*output*).

El gran atractivo de los modelos de PPP es que permiten transferir diversos riesgos del Estado a la firma privada contratante, incluyendo:

- Los costos de diseño y/o construcción de la infraestructura, y,
- La demanda de mercado por la infraestructura (uso), o,
- Los servicios que provee la infraestructura (incluyendo la disponibilidad de uso), y,
- Los costos de operación y mantención de la infraestructura.[156]

Los esquemas de PPP pueden ser clasificados según la naturaleza legal de la intervención de los privados y las distintas titularidades que les confiere el contrato: DBFO, BTO o BOT. En efecto, dependiendo de cómo se asignen las fases de construcción, operación y propiedad, las distintas formas de participación público-privado (PPP) se clasifican de la siguiente manera:

---

[154] Yescombe E.R., *op. cit.*, p. 3.

[155] El concepto de *public value*, acuñado por el profesor de la universidad de Harvard Mark H. Moore, se ha establecido como un principio fundamental en la organización del sector público desde a mediados de los años 90. En virtud de el, los empleados de una organización son libres de buscar y proponer nuevas ideas sobre como mejorar el funcionamiento de ésta, ya sea en términos de eficiencia o de prestación de servicios. Las organizaciones públicas que utilizan en su organización este principio tienen la necesidad de crear una cultura corporativa dentro del órgano público, en la que la búsqueda del *valor público* por parte de los empleados es recompensado tal y como el perseguir la creación de valor para el accionista es recompensado en las empresas privadas. Ver también, Donahue John y Zeckhauser Richard, "Public – Private Collaboration", *The oxford handbook of Public Policy*, Nueva York, Oxford University Press, 2008, pp. 505 y 506.

[156] Yescombe E.R., *op. cit.*, p. 4.

Tipo de Contrato[157]	**Design-Build-Finance-Operate (DBFO)**	**Build-Transfer-Operate (BTO)**	**Build-Operate-Transfer (BOT)**	**Build-Own-Operate (BOO)**
Construcción	Sector privado	Sector privado	Sector privado	Sector privado
Operación/Gestión	Sector privado	Sector privado	Sector privado	Sector privado
Propiedad	Estado	Sector privado durante la fase de construcción, luego revierte al Estado	Sector privado durante la vida de la concesión, luego revierte al Estado	Sector privado (no revierte al Estado)

Ahora bien, es más útil clasificar los esquemas de PPP conforme a la naturaleza del servicio y los riesgos transferidos: PPP basados en uso —sea que el peaje lo paguen los usuarios o el Estado, en el caso de los llamados *shadow tolls*— y PPP basados en disponibilidad.[158] Los PPP basados en disponibilidad se caracterizan porque el pago lo realiza el Estado a la firma privada por poner, como su nombre lo indica, a disponibilidad de la autoridad una determinada infraestructura.[159] La variable disponibilidad puede medirse conforme a métricas simples tales como la existencia física actual de la infraestructura u otras más complejas como, por ejemplo, en el caso de carreteras, números de vías abiertas, velocidad de circulación, tasa de accidentes, etc.

3.2. Derecho Comparado

No obstante la evidente utilidad, conveniencia y popularidad que presentan los esquemas de PPP para el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura, su utilización en generación núcleo-eléctrica y CCN en los países objeto del estudio muestra ser reducida. En todo caso, es necesario tener presente que esta baja utilización puede deberse a razones históricas —pues el boom de las PPP se produjo a partir de la década de los noventa— y no a razones de inconveniencia de su diseño institucional.

[157] Adaptado de *ibídem*, p. 12.
[158] *Ibídem*, p. 13.
[159] *Ibídem*

De todas maneras, es posible encontrar ejemplos de proyectos de generación núcleo-eléctrica desarrollados bajo esquemas de PPP en Canadá y Suiza. En **Canadá**, la industria de generación núcleo-eléctrica se desarrolla con la participación de empresas tanto del sector privado como del sector público. En este último caso, cabe señalar que las empresas estatales-provinciales Ontario Power Generation,[160] Hydro-Quebec y New Brunswick Power son dueñas de plantas nucleares. Ellas son de hecho responsables tanto de proporcionar el suministro eléctrico, como de construir, operar y mantener las instalaciones nucleares.

Sin embargo, desde el año 2001, la planta de generación nuclear "Bruce",[161] ubicada en Bruce County, provincia de Ontario, es operada por la firma privada Bruce Power Limited Partnership.[162] Esta firma opera la planta en virtud de un contrato de lease agreement o contrato de arrendamiento de largo plazo celebrado con la estatal-provincial Ontario Power Generation, por un periodo de 18 años (que expiran en Diciembre del año 2018) con la posibilidad de ser renovado hasta por un plazo máximo de 25 años.[163]

Asimismo, como se indicara anteriormente, **Suiza** también se caracteriza por utilizar un esquema de PPP para el desarrollo de proyectos de generación núcleo-eléctrica.[164] En el sistema suizo, el gobierno posee participación en la propiedad de las centrales nucleares a través de los cantones, sin perjuicio de que la construcción y operación de dichas centrales sea entregada a manos privadas quienes poseen un vínculo contractual de largo plazo con los cantones para dichas funciones. Ejemplo de esto lo

[160] Durante el año 1999, como parte de un programa gubernamental de reestructuración, la entonces empresa provincial de la Corona Ontario Hydro, fue dividida en cinco diferentes corporaciones provinciales pertenecientes a la Corona, dando lugar a la Ontario Power Generation (OPG), la Ontario Hydro Services Company (actualmente Hydro One Inc.), la Independent Electricity Market Operator (conocido desde el año 2004 como Independent Electricity System Operator), la Electrical Safety Authority y la Ontario Electricity Financial Corporation

[161] La instalación nuclear de Bruce consta de dos centrales de generación de potencia nuclear –- Bruce A y Bruce B – y fue construida de forma parcelada entre los años 1970 y 1987 por la entonces existente empresa provincial de la Corona Ontario Hydro.

[162] Sociedad perteneciente al sector privado, compuesta en ese entonces, por British Energy PLC con 79,8% de participación, por Cameco Corporation con un15% de participación, y por dos sindicatos primarios de la planta con un 5,2% de participación cada uno. Sin perjuicio de esto, hacia el año 2003 la British Energy PLC renunció a Bruce Power, incrementando con ello la participación de Cameco Corporation al 31,6%, y además, permitiendo el ingreso como nuevos socios de TransCanada Pipelines y BPC Generation Infrastructure Trust, cada uno con un 31,6% de participación. Los dos principales sindicatos de la instalación mantuvieron su 5,2% original de manera inalterada.

[163] Office of the Auditor General of Ontario, "The Bruce Power Refurbishment Agreement", *Special Review for the Minister of Energy*, Ontario, Queen's Printer for Ontario, 2007, p. 5

[164] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Switzerland*, op. cit., pp. 1- 5.

constituyen las centrales de Beznau y Liebstadt, ambas pertenecientes al grupo Axpo, de propiedad de los cantones del noreste de Suiza.[165]

3.3. Contexto Nacional: Concesiones de obra pública como esquema de PPP

El esquema de PPP también es una alternativa viable en nuestro sistema legal para introducir la generación núcleo-eléctrica. Actualmente, en Chile, el único mecanismo legal general y complejo para dar forma a los esquemas de PPP es la Ley de Concesiones de Obra Pública (DFL MOP N° 164 de 1991, contenido en el DS MOP N° 900 que fijó su texto refundido, coordinado y sistematizado),[166] recientemente reformada por la Ley 20.410. Las concesiones de obra pública constituyen un contrato, esto es, un acuerdo entre el Estado y una firma privada, conforme al cual la firma ejecuta, repara o conserva una obra pública y presta un servicio conforme a un nivel y/o estándar preestablecido,[167] siendo remunerada generalmente con cargo a tarifas pagadas por los usuarios.[168]

Desde un punto de vista legal, cabe señalar que, aunque se afirme que las concesiones de obra pública de la Ley de Concesiones son contratos tipo BOT (*Build-Operate-Transfer*), en realidad parecen corresponder a un BFO (*Build-Finance-Operate*) o DBFO (*Design-Build-Finance-Operate*), por cuanto el Estado siempre mantiene la propiedad de la obra pública (la que usualmente integra el dominio público).[169] La identificación de nuestras concesiones con los contratos BOT parece deberse al hecho de que el privado restituye la posesión/gestión de las obras al final de la concesión. Así, por ejemplo, según el Ministerio de Transportes:

> *Es importante destacar que los contratos de concesión son del tipo BOT (Build, Operate and Transfer), o bien DBOT (Design, Build, Operate and*

---

[165] Información disponible en http://bit.ly/cNqiWb (fecha de revisión: 25/01/2010)

[166] Cabe señalar que, de conformidad con el artículo 63 N°10 de la CPR, el establecimiento de la normativa que regule la concesión de bienes del Estado es materia reservada a la ley. De conformidad a la concepción relativa o flexible que predomina hoy en materia de reservas de ley, esto significa que los aspectos centrales o esenciales de la normativa respectiva deben estar establecidos mediante ley (esto es, mediante norma emanada del Congreso).

[167] El artículo 1° inciso 2° introducido a la Ley de Concesiones por la Ley 20.410 acentúa la dimensión de servicios de la concesión de obra pública, esto es, la obligación de proveer un cierto *output* de parte del concesionario: "Las concesiones que se otorguen contemplarán la obligación del concesionario de cumplir, durante toda la vigencia de la concesión, con los niveles de servicio, estándares técnicos o ambos, establecidos en las respectivas base de licitación, para las diferentes etapas y condiciones de la concesión".

[168] Ver definiciones formales en nota al pie 168.

[169] Según Rufián Lizana Dolores, *Manual de Concesiones de Obras Públicas*, Santiago, Fondo de Cultura Económica, 1999, p. 19, "[en] todo caso, lo que diferencia la concesión de la obra pública de la concepción de B.O.T. (Build, Operate, Transfer), es que la propiedad de la obra pública y la titularidad de la misma siempre permanece en manos del Estado".

> *Transfer). Ambos sistemas comprometen la participación del sector privado en el diseño, la construcción y explotación de la obra pública, de manera que una vez finalizado el plazo de concesión, el adjudicatario entregue la obra al Estado en condiciones óptimas con el fin de volverla a licitar.*[170]

De modo que, desde un punto de vista legal, las concesiones de obra pública en tanto esquemas de PPP pueden o no incluir el diseño de la infraestructura, y la propiedad de la misma siempre corresponde al Estado.

3.4. Otros contratos públicos en el Derecho público chileno

Las concesiones de obra pública, único esquema **general** que permite establecer PPP en el Derecho chileno, no debe ser confundido con otros contratos públicos, en particular con los siguientes:[171]

- **Concesiones de uso de bienes públicos***:* En general, los bienes de dominio público se encuentran entregados al uso público. Sin embargo, la autoridad puede entregar títulos de ocupación exclusivos sobre dichos bienes y también sobre bienes fiscales. La concesión de uso de bienes públicos (de dominio público o fiscales) es así el modo normal y general mediante el cual la Autoridad entrega dichos títulos.[172] Ejemplos: las concesiones marítimas reguladas en el artículo 3 del DFL de 1960 o las concesiones sobre bienes fiscales del artículo 57 del Decreto Ley 1939 de 1977.

- **Concesiones de servicio público:** Como explica Santamaría Pastor, "[d]esde una *perspectiva teórica*, la concesión se caracteriza como un acto (o un contrato, según las diversas opiniones) en virtud del cual la Administración transfiere a un particular la facultad de realizar una determinada actividad que, por pertenecer a la titularidad de la Administración, no formaba parte de su patrimonio jurídico".[173] Mediante este tipo de concesión se entrega entonces la gestión de servicios públicos a empresas privadas (actividades cuya titularidad teórica es pública), existiendo numerosos ejemplos en nuestro ordenamiento: concesión de servicios sanitarios (regulada en el D.F.L. M.O.P. Nº382/1988 "Ley General de Servicios Sanitarios" y en el D.S. MOP N°1199/2004),

[170] Ministerio de Obras Públicas, en URL http://bit.ly/c4hY5B (última visita, 23 de diciembre de 2009).
[171] Miquel J.E., *Régimen Jurídico de las Concesiones de Obra Pública en Chile*. Santiago, Mimeo, 1995. Citado en Rufián Lizana, Dolores, *op. cit*., p. 13.
[172] Montt Oyarzún Santiago, *El Dominio Público*. *Estudio de su Régimen Especial de Protección y Utilización*. Santiago, Editorial Conosur-LexisNexis, 2002, p. 320.
[173] Santamaría Pastor Juan, *Principios de Derecho Administrativo*, Volumen II, Madrid, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 1999, p. 323.

concesión de servicios de distribución eléctrica (regulada la LGSE), concesión de servicio público de distribución de gas de red (regulada en el DFL 323 de 1931), etc.

- **Contratos de apoyo a las funciones públicas:** La Ley N°18.803 es el cuerpo normativo que permite a los distintos órganos integrantes de la Administración del Estado —concretamente, los regidos por el título II de la Ley N° 18.575 Orgánica Constitucional de Bases de la Administración del Estado—, contratar con entes privados o con Municipalidades, "todas las acciones de apoyo a sus funciones que no correspondan al ejercicio mismo de sus potestades". También debe mencionarse aquí la Ley 19.886 sobre Contratos administrativos de suministro y prestación de servicios, que sirve como vehículo procesal y organizacional para la contratación del Estado en un amplio orden de materias.

3.5. Régimen legal de las concesiones de obra pública

Tratándose del único esquema general de PPP en nuestro sistema legal, es necesario analizar con mayor detención el régimen contractual establecido en la Ley de Concesiones de Obra Pública. Esto con el objeto de mostrar que, en principio, dicho marco legal puede ser utilizado para articular legalmente tanto una planta de generación de energía núcleo-eléctrica como el negocio de almacenamiento, tratamiento y eliminación de desechos radioactivos y combustible gastado (*back-end* del CCN).

3.5.1. Concesión de Obra Pública Fiscal

Como hemos señalado, las concesiones de obra pública permiten que empresas privadas participen en el diseño, construcción, conservación y operación de una obra pública fiscal. En términos formales, la concesión de obra pública es "un contrato administrativo celebrado entre el Ministerio de Obras Públicas y un particular Concesionario, en virtud del cual este último asume, a su cuenta y riesgo, la ejecución, conservación o reparación de una Obra pública Fiscal, a cambio del derecho a explotar dicha Obra y a obtener la tarifa o peaje pactados, dentro del plazo y de acuerdo a las condiciones legales y reglamentarias contenidas en el Decreto Supremo de Adjudicación".[174]

[174] Rufián Lizana Dolores, *op. cit*., p. 26. Se remite a Vargas Fritz J.F, *La Concesión de Obras Públicas*. Santiago, Ediciones Jurídicas, 1997, p. 117-118. Por su parte, según Moraga Klenner Claudio, *Contratación Administrativa*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2007, p. 49, la concesión de obra pública es "un contrato administrativo celebrado entre el Estado de Chile y un particular concesionario, en virtud del cual éste asume, en un régimen de riesgo compartido, la ejecución, conservación o reparación de una obra pública fiscal a cambio del derecho a explotar dicha obra y a obtener la tarifa o

Como puede apreciarse, el objeto esencial de estos contratos es una obra pública fiscal, esto es, un inmueble construido, reparado o conservado, sea fiscal o nacional de uso público.[175] El contrato de concesión de obra pública comprende además los denominados "servicios básicos" que están esencialmente vinculados a la obra pública y que se definen como "[t]odos aquellos que comprenden el objeto específico de la concesión y que sean imprescindibles y por los cuales el concesionario está autorizado a cobrar la tarifa".[176]

De esta forma, al concesionar una obra pública fiscal, el Estado se abstiene de intervenir directamente en las tareas de diseño, construcción, conservación y operación de la misma y permite que la empresa privada asuma directamente dichas funciones. Ahora bien, en todas las concesiones de obra pública se dan los siguientes elementos:

- La propiedad de la obra pública fiscal permanece siempre en manos del Estado.

- El Estado sigue siendo responsable, aunque indirectamente, de entregar el servicio público correspondiente a la ciudadanía.

- La tarifa que el concesionario cobra a los usuarios constituye el mecanismo habitual por medio del cual el concesionario obtiene la debida contraprestación a su obligación de explotar la obra conforme a un cierto estándar de servicio (incluyendo la recuperación del capital invertido).

En las concesiones de obra pública, la autoridad concedente, quien además administra y fiscaliza el cumplimiento del contrato, es siempre el Ministerio de Obras Públicas (MOP).[177] Si se trata de bienes fiscales que pertenecen o son administrados por otros

---

peaje pactado, dentro del plazo y de acuerdo a las condiciones legales y reglamentarias vigentes". Finalmente, conforme a Silva Cimma Enrique, *Derecho Administrativo Chileno y Comparado. Actos, Contratos y Bienes*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 1995, p. 226, la concesión de obra pública es "un acuerdo de voluntades entre la Administración y un tercero por medio del cual este último se obliga a construir una obra pública a su costa a cambio de cobrar en su favor durante cierto tiempo tarifas a los usuarios, consintiendo en que su participación quede regulada por un régimen especial de Derecho Público".

[175] Art. 39 inciso 1º del DS 900.

[176] Art. 3° N°24 del Reglamento de Concesiones.

[177] De acuerdo al artículo 1 del DFL 850 de 1997, Ley Orgánica del MOP, "El Ministerio de Obras Públicas es la Secretaría encargada del planeamiento, estudio, proyección, construcción, ampliación, reparación, conservación y explotación de las obras públicas fiscales y el organismo coordinador de los planes de ejecución de las obras que realicen los Servicios que lo constituyen y de las demás entidades a que se refieren los artículos 2° y 3° de esta Ley".

organismos públicos, éstos pueden celebrar un "convenio de mandato" con el MOP a fin de acceder a las concesiones de obra pública. Así lo dispone el artículo 39 de la referida ley:

> *El Ministerio de Obras Publicas es competente para otorgar en concesión toda obra pública, salvo el caso en que tales obras estén entregadas a la competencia de otro Ministerio, servicio público, Municipio o empresa pública u otro organismo integrante de la administración del Estado. En estos casos, dichos entes públicos podrán delegar mediante convenio de mandato suscrito con el ministerio de Obras Públicas, la entrega en concesión de tales obras bajo su competencia, para que éste entregue su concesión, regida por esta ley. En estos casos se entenderá incluido en dicho convenio la totalidad del estatuto jurídico de concesiones de obras públicas, esto es, tanto el procedimiento de licitación, adjudicación y la ejecución, conservación y explotación como las facultades, derechos y obligaciones que emanan de la ley.*[178]

Cabe mencionar que mediante este esquema de PPP, el MOP ha licitado proyectos no sólo relativos carreteras, sino también aeropuertos, cárceles, embalses, hospitales y muchas otras obras públicas fiscales de diversa naturaleza. La flexibilidad de la Ley de Concesiones de Obra Pública ha sido de hecho confirmada en la reciente reforma introducida por la Ley 20.410, la que introdujo un nuevo artículo 6 bis en el que se hace referencia a proyectos "multifuncionales y que revistan un algo grado de complejidad, tales como cárceles, hospitales, autopistas urbanas u otros similares".

La flexibilidad de la Ley de Concesiones de Obra Pública puede apreciarse en el hecho que la misma ya ha sido aplicada a proyectos de generación eléctrica. En efecto, el

[178] Ver también el artículo 96 del Reglamento de la Ley de Concesiones (DS 956): "Concesiones Otorgadas a Solicitud de Otros Organismos del Estado. 1.- El Ministerio de Obras Públicas es competente para otorgar en concesión toda obra pública, salvo el caso en que tales obras o bienes estén entregadas a la competencia de otro Ministerio, servicio público, Municipio, empresa pública u otro organismo integrante de la administración del Estado. 2.- En estos casos, dichos entes públicos podrán delegar mediante convenio de mandato suscrito con el Ministerio de Obras Públicas, la entrega en concesión de tales obras o bienes, bajo su competencia, para que éste entregue su concesión, regida por la Ley de Concesiones. En estos casos se entenderá incluido en dicho convenio la totalidad del estatuto jurídico de concesiones de obras públicas, esto es, tanto el procedimiento de licitación y adjudicación y la ejecución, conservación y explotación como las facultades, derechos y obligaciones que emanan de la referida ley. 3.- El convenio deberá ser firmado antes del llamado a licitación, y en él se podrá establecer a quién corresponde sufragar los gastos de la licitación y adjudicación así como asumir las obligaciones económicas derivadas del contrato de concesión. 4.- En todo caso, la entidad pública que suscribió el convenio deberá aprobar las bases de licitación con anterioridad al llamado a licitación. Si dentro de los 30 días corridos desde el ingreso de las bases en las oficinas de dicho organismo, no se reciben observaciones en la oficina de partes de la Dirección General de Obras Públicas, se entenderán aprobados los documentos de licitación por parte del organismo respectivo".

proyecto "Generadora Eólica Punta Curaumilla", presentado al MOP como iniciativa privada por la empresa Handels Und Finanz A.G. Chile S.A., utiliza este esquema para desarrollar un proyecto eléctrico de naturaleza militar.[179] En este caso, la Armada de Chile planeaba construir una central eléctrica eólica en terrenos fiscales, y decidió concesionar su construcción y operación mediante la celebración de un convenio de mandato con el MOP. Dado que la Armada de Chile no cuenta con autorización legal para desarrollar actividades empresariales, la Contraloría aprobó el proyecto pero con el reparo que dicha actividad no podía convertirse en una de naturaleza empresarial:

> *Por tanto el Ministerio de Obras Públicas puede materializar el proyecto "Generadora Eólica Punta Curaumilla" descrito precedentemente, en la medida de que se trate de obras de exclusivo carácter militar en lo términos dispuestos por la normativa antes aludida, a fin de generar energía eléctrica mediante el aprovechamiento de las condiciones de viento en la zona para uso exclusivo de dicha institución, a través del Sistema de Concesiones establecido en el decreto N° 900, de 1996, de esa Secretaría de Estado, a solicitud de la Armada de Chile y previa suscripción del respectivo convenio mandato, debiendo advertirse, en todo caso, que la ejecución de este proyecto no puede importar el desarrollo ni la participación de esa rama de las Fuerzas Armadas de una actividad económica.*[180]

3.5.2. La tarifa y la relación del concesionario con los usuarios

Un aspecto particularmente relevante de las concesiones de obra pública es que el concesionario se encuentra generalmente autorizado para cobrar una tarifa a los usuarios de la infraestructura pública.[181] Dicha tarifa permite al concesionario recibir los flujos de caja necesarios para recuperar el capital invertido en la obra, financiar su operación conforme a los estándares de calidad exigidos y para obtener un retorno razonable.

Simultáneamente, y como contraprestación, el concesionario tiene la obligación de brindar los servicios básicos acordados en la concesión en forma continua e ininterrumpida.[182] De esta manera, fruto de tal obligación es que surgen derechos

[179] Ver al respecto el Dictamen de Contraloría General de la República No. 3181 de 21 de enero de 2009.
[180] *Ibídem*
[181] Conforme al artículo 11 de la Ley de Concesiones de Obras Públicas (DS 900), "El concesionario percibirá como única compensación por los servicios que preste, el precio, tarifa o subsidio convenido y los otros beneficios adicionales expresamente estipulados. El concesionario no estará obligado a establecer exenciones en favor de usuario alguno".
[182] La Ley 20.410 consagra como principio rector de todo el sistema de concesiones de obras públicas, la obligación que asume el concesionario de mantener, durante toda la duración de la concesión, los niveles de servicios y estándares técnicos determinados en las bases de licitación y en el respectivo

correlativos para el usuario, que Rufián Lizana resume en el derecho de acceso al servicio, el derecho al funcionamiento del mismo, derecho a la información, a presentar reclamaciones, etc.

3.6. La generación núcleo-eléctrica y la gestión de desechos radioactivos por empresas privadas conforme a la Ley de Concesiones de Obra Pública

Conforme a la exposición previa relativa a la Ley de Concesiones de Obra Pública, cabe concluir que la generación núcleo-eléctrica y la gestión de desechos radioactivos podrían en principio ser desarrolladas por empresas privadas conforme al esquema de PPP contenido en dicha normativa. Aunque desde una perspectiva de políticas públicas el uso de la Ley de Concesiones de Obra Pública no parece ser la forma ideal para el desarrollo de la energía núcleo-eléctrica, desde una perspectiva estrictamente legal, consideramos que dicha normativa sí puede ser utilizada para estos efectos. El reciente dictamen de la Contraloría, por el cual aprobó la "Generadora Eólica Punta Curaumilla", confirma esta conclusión.[183]

En lo que se refiere a la operación de una planta de generación de energía núcleo-eléctrica o a la gestión de los desechos radioactivos, la viabilidad de la concesión de obra pública requeriría de los siguientes requisitos básicos:

- Adquisición por parte de la CCHEN de un inmueble que constituya el sitio de emplazamiento de la planta núcleo-eléctrica o del lugar de almacenamiento de desechos radioactivos. En este punto, cabe señalar que la viabilidad de una concesión de obra pública se debe a la autorización para desarrollar actividades núcleo-eléctricas que la ley vigente otorga a la CCHEN.

- Celebración de un convenio de mandato entre la CCHEN y el MOP. Debe destacarse que este convenio posiciona al MOP como la autoridad directa ante la cual queda sometida el concesionario.

- Definición de una central núcleo-eléctrica o de un sitio de almacenamiento de desechos radioactivos, respectivamente, como la obra pública fiscal, y definición de servicios básicos de generación eléctrica o de gestión de desechos radioactivos, respectivamente, como el objeto esencial materia de la concesión de obra pública.

---

contrato. Con ello, se pretende asegurar el efectivo cumplimiento de los fines públicos que fundamentan la inversión en infraestructura, más allá de la ejecución de especificaciones técnicas que, por si solas, no dan cuenta suficiente de las necesidades ciudadanas que el sistema de concesiones de obras públicas está llamado a satisfacer.

[183] Dictamen de Contraloría General de la República No. 3181 de 21 de enero de 2009.

- Definición de una tarifa a ser pagada por los usuarios —empresas distribuidoras y clientes libres—, que sea compatible con la regulación de precios que el sector eléctrico imponga a la generación núcleo-eléctrica, o definición de una tarifa a ser pagadas por las centrales núcleo-eléctricas por la gestión de desechos radioactivos, respectivamente. También pueden incluirse subsidios y cánones a ser pagados por el Estado.

Cabe mencionar que la Ley de Concesiones de Obra Pública permite celebrar concesiones cuya duración no exceda de 50 años (artículo 25 DS 900), término que resulta plenamente compatible con los requisitos de larga duración demandados por los proyectos núcleo-eléctricos.

4. La quiebra en la generación núcleo-eléctrica

4.1. Introducción y Derecho comparado

Al igual que cualquier actividad empresarial, la generación de energía eléctrica está sujeta a los riesgos de falta de liquidez, insolvencia y quiebra que son inherentes al desempeño de toda actividad económica.[184]

A nivel comparado, los ordenamientos jurídicos tienen un preocupación fundamental por los procedimientos de quiebras y de reorganización empresarial, toda vez que se trata de disminuir al mínimo los costos de salida de los agentes de los mercados respectivos y, al mismo tiempo, se busca evitar la destrucción de valor, esto es, evitar la liquidación de firmas cuyo valor agregado en cuanto tal es mayor que el conjunto de activos que la conforman. Además, resulta esencial dar seguridad a los acreedores que sus créditos serán pagados conforme a las preferencias y garantías establecidas en la ley, de forma de no frustrar sus expectativas.[185]

A nivel comparado y considerando los países que han sido analizados en este informe, algunos de los textos legales más relevantes en materia de quiebras y reorganización empresarial son los siguientes:

- Alemania: Ley Concursal Alemana (Insolvenzordnung).
- Inglaterra: *Insolvency Act* de 1986.
- Estados Unidos: El Título 11° del *United States Code*, comúnmente llamado el *U.S. Bankruptcy Code* y, en particular, el Capítulo 11° del *U.S. Bankruptcy Code*, el cual se destaca por permitir a la empresa seguir operando mientras se crea

[184] Román Rodríguez Juan Pablo (coord.), *Salvamento de las empresas en crisis*, Santiago, Fundación Facultad de Derecho de la Universidad de Chile, 2001, p. 9.
[185] *Ibídem*.

un plan para pagar a los acreedores, consagrando con esto el principio de reorganización o reestructuración empresarial.

- Canadá: *Bankruptcy and Insolvency Act* (R.S., 1985)
- Suecia: Ley Concursal Sueca (1987:672) y la Ley de Reorganización de Empresas (1996:764).
- Finlandia: Ley Concursal (120/2004), la Ley Sobre Reorganización de Empresas (47/1993) y la Ley sobre Liquidación de Deudas de Particulares (57/1993).
- Francia: El Código de Comercio, el Código de Seguridad Social, la Ley N° 85-98 relativa a la reorganización y liquidación de empresas (25/01/1985), la Ley N° 94-475 relativa a la prevención y tratamiento de las dificultades de las empresas (10/06/1994) y el Decreto N° 2005-1677 de 28 /12/2005 promulgado en virtud de la Ley N° 2005-845 de 26/07/2005 relativa a la salvaguardia de negocios.
- Suiza: Ley de Insolvencia codificada principalmente en el Estatuto Federal de Quiebras y Ejecución de Deudas del 11 de Abril de 1889 (*Bundesgesetz über Schuldbetreibung und Konkurs, SchKG*)

Ahora bien, tratándose de la insolvencia de una empresa de generación eléctrica, existen razones adicionales para evitar su quiebra, término de actividades y salida del mercado, ello porque lo que está en juego también es la seguridad del sistema eléctrico. Por ello, no es inusual que las normativas de los distintos países contemplen reglas especiales relativas a la quiebra de empresas de generación.

Por ejemplo, en **España** rige la Ley del Sector Eléctrico Español N° 54/1997, que en su disposición adicional primera contiene un régimen especial de intervención administrativa de empresas eléctricas que se encuentran en cesación de pagos o quiebra. Esta norma señala que corresponderá proceder a la intervención administrativa de empresas eléctricas cuando el incumplimiento de sus obligaciones pueda afectar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico.

De modo que, a fin de garantizar el adecuado mantenimiento del sistema eléctrico, tanto el Gobierno central español como también los Gobiernos de las Comunidades Autónomas —para el caso de empresas que desarrollan actividades y funciones eléctricas cuyas instalaciones requieran de autorización de competencia de dichas comunidades— poseen la facultad de acordar la intervención de la empresa de generación respectiva a fin de imponer y fiscalizar la aplicación de medidas correctivas.[186] En efecto, de acuerdo a la legislación española, es causa de intervención administrativa de una empresa:

[186] En este sentido, el artículo 128 de la Constitución Española de 1978, en su numeral 2°, señala que junto con reconocerse la iniciativa pública en la actividad económica, mediante Ley se puede reservar al sector público recursos o servicios esenciales, especialmente en aquellos casos en donde estemos en

- La suspensión de pagos o quiebra de la empresa.

- La gestión irregular de la actividad cuando le sea imputable y pueda dar lugar a su paralización con interrupción del suministro a los usuarios.

- La grave y reiterada falta de mantenimiento adecuado de las instalaciones que ponga en peligro la seguridad de las mismas.

4.2. Contexto Nacional: La quiebra en el sector eléctrico y su reciente regulación

El mercado de la generación eléctrica, al igual que cualquier mercado, supone el desarrollo de una actividad económica que no se encuentra exenta de riesgos y contingencias. El riesgo de insolvencia es crucial en este punto pues afecta el esquema de propiedad que pueda haberse adoptado al inicio de un proyecto núcleo-eléctrico.

Dentro del mercado de la generación eléctrica, es importante tener presente que las empresas generadoras, en términos generales, son libres para contratar con quienes ellas estimen convenientes a fin de precaverse de los ingresos operacionales que les permitan un adecuado funcionamiento. De esta manera, puede señalarse que los ingresos que percibirá una generadora estarán compuestos por lo que reciba:[187]

- De la compra y venta de energía y potencia en el mercado *spot*.

- De la venta de energía y potencia a clientes libres, a precios transados de manera consensual entre las partes.

- De la venta de energía y potencia a clientes regulados a precios de nudo (a distribuidoras).

- Del cobro a distribuidores por pagos efectuados a la transmisión por retiros destinados a clientes regulados.

No obstante, puede que dichos ingresos no sean suficientes para cubrir los costos que significa generar energía a partir de algunos de los combustibles o insumos que

presencia de mercados monopólicos y, asimismo, acordar la intervención de empresas, sin distinción alguna, cuando así lo exige el interés general.

[187] Agüero Vargas Francisco, "Producción y Política Comercial de la Energía Eléctrica", *Presentación realizada en el marco del Magíster de Economía Energética*, Santiago, Universidad Técnica Federico Santa María, 2009.

componen nuestra matriz energética. Así, por ejemplo, las restricciones a la importación de gas natural proveniente desde Argentina durante el año 2007 afectaron fuertemente a todas aquellas empresas generadoras que utilizaban dicho insumo en la producción de energía eléctrica y potencia, lo que les significó un importante aumento en sus costos. Dicho aumento generó la posibilidad de que las generadoras se vieran imposibilitadas de cumplir sus compromisos financieros en tiempo y forma, lo que ocasionó, en algunos casos, una incapacidad de cumplir sus deudas, comprometiendo no sólo su patrimonio, sino que potencialmente la estabilidad y continuidad de todo el sistema eléctrico.[188]

Para hacer frente a este problema general del sistema eléctrico, con fecha 14 de Septiembre del año 2007 se publicó la Ley N° 20.220. Dicho cuerpo legal pretende resguardar tanto la seguridad del suministro eléctrico a los clientes sujetos a precios regulados como la suficiencia y autonomía del sistema energético nacional, señalándose como objetivos de dicha iniciativa:[189]

- El impedir que una sentencia judicial que ponga término a un contrato de suministro eléctrico signifique interrumpir el suministro eléctrico a los clientes que tienen precios regulados.

- Dictar normas especiales para el caso de la quiebra de una empresa generadora, transmisora o distribuidora de energía eléctrica, con el objeto de impedir que se interrumpa el suministro, disponiéndose la continuación efectiva del giro de la empresa fallida.

Al análisis de este ultimo punto, nos abocaremos a continuación.

4.3. La quiebra de empresas de generación eléctrica

Con motivo de la publicación de la Ley N° 20.220, señalada anteriormente, se buscó perfeccionar el marco legal del mercado eléctrico con el objeto de resguardar la seguridad del suministro a los clientes regulados y la suficiencia de los sistemas eléctricos de nuestro país.

En dicho cuerpo legal se introdujeron una serie de normas especiales que regulan el caso de la quiebra de una empresa generadora —caso en el cual nos centraremos en este informe—, transmisora o distribuidora de energía eléctrica, con el objeto de

[188] De acuerdo a lo dispuesto en el Art. 225 de la LGSE un "sistema eléctrico" se encuentra compuesto por cada conjunto de instalaciones de centrales eléctricas generadoras, líneas de transporte, subestaciones eléctricas y líneas de distribución, interconectadas entre sí, que permite generar, transportar y distribuir energía eléctrica.
[189] Libertad y Desarrollo, *Boletín 5251-08*, Santiago, Libertad y Desarrollo, 2007, p. 31.

resguardar la continuidad del suministro de energía que dicha empresas inyectan al sistema.

Así, el artículo 146 ter de la LGSE, introducido por la mencionada Ley 20.220, señala que la quiebra de una empresa generadora, transmisora o distribuidora de electricidad se rige por las reglas especiales indicadas en dicho artículo, relegando a la legislación concursal común, contenida en la Ley N° 18.175 de Quiebras (LQ, actualmente contenida en el título IV del Código de Comercio), los demás aspectos no regulados por ella.

Con todo, la regulación que se hace en la LGSE de la quiebra de una empresa generadora se centra en la reglamentación procedimental del tratamiento de la solicitud de quiebra dichas empresas. Lo que el mencionado artículo 146 ter establece, son requisitos y etapas procesales que deben respetarse, con el fin de resguardar la adecuada continuidad del suministro energético al sistema eléctrico del que forma parte la generadora.

Como lo señala el artículo 146 ter, inmediatamente después de presentada una solicitud de quiebra de una empresa generadora de energía eléctrica, el secretario del tribunal en donde se presenta dicha solicitud, deberá notificarla a la SEC y a la CNE, dentro de un muy breve plazo (veinticuatro horas), para que el tribunal se pronuncie sobre ella previo informe de los organismos indicados, los que deberán señalar si la quiebra compromete o no los objetivos señalados en el artículo 137 de la LGSE. Dichos objetivos son los siguientes:

- Preservar la seguridad del servicio en el sistema eléctrico.

- Garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema eléctrico.

- Garantizar el acceso abierto a los sistemas de transmisión troncal y de subtransmisión.

Por ello, para comprender apropiadamente los alcances de la ley, es necesario distinguir la quiebra de una empresa generadora eléctrica *esencial* de la quiebra de una empresa no-esencial. Analizaremos estos dos casos a continuación.

4.3.1. Quiebra de una generadora de energía eléctrica esencial

Si de acuerdo a lo señalado por los órganos administrativos llamados a informar, los fines contenidos en el artículo 137 de la LGSE se ven comprometidos con la declaración de quiebra de la empresa generadora, la resolución judicial que la declara debe ordenar la

continuación efectiva del giro de la misma. Dicha resolución debe además designar al administrador provisional de los bienes comprometidos en la continuación efectiva del giro de la generadora, quien, tan pronto como asuma en su cargo, procederá al levantamiento de un inventario de los activos de la empresa declarada en quiebra que quedarán comprendidos en la continuación efectiva del giro.[190]

De existir discrepancias entre el administrador y la junta de acreedores respecto al inventario, el juez que conoce de la solicitud de quiebra decidirá qué bienes formarán parte del mismo, debiendo garantizar, con todo, que los bienes que queden comprendidos en la continuación efectiva del giro permitan el cumplimiento de los objetivos de preservar la seguridad del servicio en el sistema eléctrico, garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones de tal sistema, garantizar el acceso abierto a los sistemas de transmisión troncal y de subtransmisión y el resguardo de la suficiencia del sistema eléctrico. Para ello, la SEC y la CNE deberán remitir al juez un inventario de los activos que se consideren suficientes a tal efecto.[191]

El administrador provisional de los bienes comprendidos en la continuación efectiva del giro tendrá todas las facultades propias del giro ordinario de la empresa generadora, tal y como si fuera su gerente. El síndico queda relegado a un papel alejado de la gestión misma del negocio, teniendo en materia de administración las facultades que indica el artículo 200 de la LQ,[192] sin perjuicio de las atribuciones que la ley le confiere como

[190] En materia concursal, se admiten dos grupos bien definidos de continuación del giro: (1) la continuación provisional y (2) la continuación definitiva del giro. Ambas se diferencian por cuanto la adopción de la primera de ellas es de exclusiva decisión del síndico de quiebras, no así la segunda, que es decisión de la junta de acreedores o del síndico, previa autorización judicial. Asimismo, ambas situaciones se diferencian en los tiempos de duración que le están permitidos y en el objetivo que cumplen con su adopción. Al respecto ver Puga Vial Juan Esteban, *Derecho Concursal Juicio de Quiebras*, Tomo II, Santiago, Editorial Jurídica, 1999, p. 588.

[191] Cuando la continuación efectiva del giro comprenda bienes constituidos en prenda o hipoteca o afectos al derecho legal de retención, se suspende el derecho de los acreedores hipotecarios, prendarios y retencionarios para iniciar o proseguir en forma separada las acciones dirigidas a obtener la realización de los bienes comprendidos en la continuación efectiva del giro.

[192] Art. 200: "Las atribuciones y deberes del interventor serán las siguientes, a menos que se acuerde otra cosa: (1) Imponerse de los libros, documentos y operaciones del deudor; (2) Llevar cuenta de las entradas y gastos de los negocios del deudor; (3). Visar, en su caso, los pagos a los acreedores; (4). Cuidar de que el deudor no retire para sus gastos personales y los de su familia otras sumas que las autorizadas en el convenio; (5) Rendir trimestralmente la cuenta de su actuación y la de los negocios del deudor, y presentar las observaciones que le merezca la administración de este último. Esta cuenta será enviada por correo a cada uno de los acreedores; (6) Pedir al tribunal ante el cual se tramitó el convenio que cite a junta de acreedores, siempre que lo crea conveniente o cuando se lo pida alguno de ellos para tratar asuntos de interés común. Todos los acuerdos de la junta deberán ser adoptados por la mayoría del pasivo del convenio, con derecho a voto; (7) Impetrar las medidas precautorias que sean necesarias para resguardar los intereses de los acreedores, sin perjuicio de los acuerdos que éstos puedan adoptar. Estas solicitudes se tramitarán como incidente, y (8) Representar judicial y extrajudicialmente a los acreedores para llevar a efecto los acuerdos que tomen en forma legal."

administrador de los bienes de la quiebra no comprendidos en la continuación efectiva del giro.

La administración provisional se extenderá por todo el período que fuere necesario para el perfeccionamiento de la enajenación de los activos de la empresa generadora, dependiendo de si han quedado o no comprendidos en la continuación efectiva del giro de la empresa:

- Los activos que han quedado comprendidos en la continuación efectiva del giro deberán enajenarse como unidad económica[193], salvo que los acreedores que reúnan más de la mitad del pasivo de la quiebra con derecho a voto, soliciten al juez de la quiebra lo contrario, debiendo éste resolver con audiencia de la SEC y de la CNE. Esta enajenación deberá verificarse dentro de un plazo no superior a dieciocho meses contado desde que la sentencia que declare la quiebra cause ejecutoria.[194]

- Los activos que no han quedado comprendidos en la continuación del giro, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 120 de la LQ, deberán ser enajenados por el sindico de la quiebra, sujetándose a los acuerdos que al efecto haya tomado la junta de acreedores, o en su ausencia, mediante los distintos mecanismos contemplados a partir del artículo 121 de la LQ.

4.3.2. Quiebra de una generadora de energía eléctrica *no esencial*

De acuerdo a los términos en que ha sido redactado el artículo 146 ter de la LGSE, cuando nos encontremos ante la solicitud de quiebra de una empresa generadora eléctrica respecto de la cual tanto la SEC como la CNE no estimen que con la declaratoria de quiebra se afectan los fines contemplados en la legislación eléctrica, el tribunal no se encontrará obligado a decretar la continuación definitiva del giro de la fallida, pudiendo procederse mediante las normas comunes de realización de los activos de una empresa en quiebra.

Las normas comunes están contenidas en los artículos 120 y siguientes de la LQ, los cuales entregan al síndico la facultad para vender en cualquier momento, al martillo o en venta privada, los bienes expuestos a próximo deterioro o a una desvalorización

[193] Para el profesor Varela Morgan, "unidad económica", es el conjunto de bienes caracterizado por una orientación hacia una finalidad económica de producción o distribución de bienes o servicios. Citado en: Puga Vial Juan Esteban, *op. cit*. p. 626.

[194] En materia concursal, la venta de activos como unidad económica, es un procedimiento extraordinario y especialísimo de realización de estos, en virtud del cual se venden los activos mediante la confección de bases de enajenación, y en pública subasta, en donde se contienen los lineamientos otorgados por la junta de acreedores al efecto.

inminente y los que exijan una conservación dispendiosa. Las especies corporales muebles se venderán al martillo y los valores mobiliarios que tengan cotización bursátil, en remate en bolsa de valores. Todos los demás bienes corporales o incorporales se venderán en pública subasta ante el juez que conoce de la quiebra, en conformidad a los trámites del juicio ejecutivo o en licitación pública cuyas bases deberán ser aprobadas por la junta de acreedores.[195]

Sin perjuicio de esto, la junta de acreedores, con el voto favorable de más de la mitad del pasivo de la quiebra con derecho a voto y del fallido, puede acordar, en cualquier tiempo, una forma diferente de realización de los bienes de la masa y las modalidades de la misma, pudiendo el sindico formular oposición fundada a dicho acuerdo, debiendo resolver el juez de manera incidental.

4.4. La quiebra de una empresa de generación núcleo-eléctrica

La quiebra de una empresa de generación núcleo-eléctrica no está contemplada en la ley chilena. No cabe duda que, por el tamaño de las plantas de generación núcleo-eléctrica en relación a los sistemas SIC y SING, estaríamos frente a la quiebra de una generadora de energía eléctrica *esencial*.

Ahora bien, los resguardos especiales que la Ley N° 20.220 contempla para la quiebra de una generadora de energía eléctrica *esencial* no parecen ser suficientes para el caso de una empresa núcleo-eléctrica. Consideraciones de seguridad, salud y protección del medio ambiente requieren contar con una normativa especial que asegure la continuación efectiva del giro y la adopción de todas las demás medidas que sean requeridas al efecto.

5. Brechas, vacíos y contradicciones

Corresponde finalmente en esta sección, a modo de cierre, resumir lo planteado y tomar nota de las brechas, vacíos y contradicciones que hemos indicado a lo largo de este capítulo. Conforme hemos señalado, en términos de marco regulatorio no existe ninguna duda que el *first-best* es el establecimiento de una ley que regule la generación núcleo-eléctrica en forma expresa y específica, siguiendo alguno de los modelos generales que identificamos en la introducción. Ello permite además dar pleno cumplimiento a las obligaciones internacionales que ha contraído nuestro país en la materia.

Sin perjuicio de lo anterior, en este capítulo hemos revisado la situación actual del sistema legal chileno y hemos analizado asimismo las distintas maneras conforme a

[195] Art. 122 LQ

las cuales podría instalarse la generación núcleo-eléctrica en el contexto del Derecho vigente. El estudio de este capítulo se ha concentrado, además, en modelos de propiedad y gestión, sin tomar en consideración los demás aspectos relevantes que son tratados en otros capítulos de este informe.

A continuación planteamos una síntesis de las conclusiones de cada parte de este capítulo, poniendo énfasis en las brechas, vacíos y contradicciones detectados.

5.1. Estado empresario *y joint-ventures* público-privados: CCHEN, CODELCO y ENAMI

La CPR permite a los órganos del Estado participar en el desarrollo de actividades empresariales, siempre y cuando una ley de quórum calificado así los autorice. Del análisis de las normas legales actualmente existentes en nuestro ordenamiento, hemos concluido que actualmente sólo dos órganos estatales pueden participar en la generación núcleo-eléctrica, y en ambos casos con limitaciones:

- La CCHEN puede desarrollar o participar en actividades de generación núcleo-eléctrica, incluidas aquellas vinculadas al *front-end* y *back-end* del CCN.

  En cuanto a limitaciones detectadas, sólo en lo que se refiere a "producción de energía nuclear" puede la CCHEN formar *joint-ventures* público-privados y formar sociedades conforme al Derecho comercial. Ahora bien, "producción de energía nuclear" debe entenderse como actividades propias del *front-end* del CCN, sin incluir la generación eléctrica propiamente tal.

- CODELCO y ENAMI, por su parte, tienen un objeto legal amplio que les permite abarcar las actividades relativas al *front-end* del CCN. Dichas actividades las pueden realizar por sí o a través de sociedades creadas para dichos efectos.

  Por el contrario, respecto de la generación núcleo-eléctrica, creemos que actualmente y sin una reforma legal previa, no es apropiado que CODELCO participe en la generación núcleo-eléctrica con fines empresariales. Dada la falta de claridad de la norma legal que autoriza a dicha empresa, es altamente probable que, de participar en dichas actividades, será cuestionada judicialmente por infracción al inciso segundo del artículo 19 N° 21 de la CPR. Por su parte, no cabe duda alguna que ENAMI no puede participar en tales actividades.

  Reiteramos que las autorizaciones para realizar actividades empresariales de que gozan tanto CODELCO como ENAMI les permiten crear sociedades anónimas para el desarrollo de sus giros. Nada obsta a que CODELCO y ENAMI

llamen a firmas privadas a participar en la propiedad de dichas sociedades anónimas, formándose de este modo sociedades de economía mixta en lo que se refiere al *front-end* del CCN.

- Cabe por último mencionar la falta de certeza jurídica respecto a la vigencia de diversas disposiciones del DL 1.557 de 1976. En efecto, varias de sus normas parecen estar derogadas tácita u orgánicamente por la Ley 18.097, Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras, y por el artículo 244 del Código de Minería.[196] Sin embargo, la reciente Ley Nº 20.402 que crea el Ministerio de Energía ha vuelto ha hacer referencia a normas que parecían derogadas —en particular, aquellas relativas a los "contratos especiales de operación"—, lo que introduce un cierto grado de falta de certeza que debe ser analizado y corregido.[197]

5.2. Propiedad y gestión privada sujeta a regulación

Constitucionalmente, nuestro país está organizado como una economía abierta, en la cual los privados, por regla general, pueden participar en la propiedad y gestión de toda clase de activos y actividades. Por ello, no se observan inconvenientes para que se utilice como modelo uno en el cual la empresa privada participe como un actor relevante en la propiedad y gestión de un programa de generación núcleo-eléctrica.

Esto es particularmente efectivo en el ámbito de la generación eléctrica, que se caracteriza por su desregulación y apertura a la competencia. Cualquier privado puede participar en esta industria, sin siquiera requerir de una concesión (excepcionalmente, tratándose de centrales hidráulicas, los privados puedan voluntariamente solicitar una concesión). Esto es, ciertamente, sin perjuicio de las licencias y regulaciones que se exijan en materia de energía núcleo-eléctrica según se analizará en el capítulo pertinente.

Con todo, del estudio y análisis que dieron forma al presente capitulo, se observan las siguientes brechas, vacíos y contradicciones en la normativa nacional que obstaculizan el ingreso de privados al mercado en comento:

[196] Como señalamos anteriormente, el artículo 244 N° 5° del Código de Minería de 1983 derogó "toda disposición legal o reglamentaria contraria o incompatible con los preceptos de este Código" y derogó expresamente los artículos 5 y 6 de la Ley 16.319 que establecían el control y reserva del Estado sobre los materiales atómicos naturales (uranio y torio). El DL 1557 de 1976, en su totalidad, fue promulgado en su momento bajo la premisa que el Estado tenía la reserva de los materiales atómicos naturales uranio y torio. Ver nota al pie 64.
ambos artículos, lo cual es indicativo de una derogación tácita u orgánica.
[197] Ver en particular los Artículos 2 No. 5 y 3 No. 2 de la Ley 20.402.

- En relación al *front-end* del CCN, cabe mencionar el derecho preferente de compra de la CCHEN y las restricciones definidas en el Artículo 8º de la Ley 16.319. No obstante que el Código de Minería otorga la posibilidad a los privados de hacerse de aquellos productos mineros originados en explotaciones en los que el torio o el uranio tengan presencia significativa, el Estado puede siempre ejercer un derecho de compra preferente sobre tales minerales, y además, puede obstaculizar el comercio de los mismos conforme al Artículo 8 citado.

- Tal como se ha señalado en informes anteriores[198], se requiere precisión del contenido de la expresión "instalación nuclear" utilizada por los artículos 3, número 9, y 4 de la LSN, toda vez que de dicha definición dependerá la necesidad de requerir de autorización para el desarrollo por parte de privados de algunas de los procesos que forman parte del CCN.

- Respecto a la operación de una planta núcleo-eléctrica, cabe señalar que la LGSE no permite a su dueño obtener una concesión administrativa. Con ello, el proyecto en cuestión no podrá acceder a los beneficios y ventajas propios de la calidad de concesionario de servicio público a que nos hemos referido anteriormente (e.g. permisos sobre los bienes nacionales de uso público, servidumbres forzosas, etc.).

- Por último, la normativa relativa a quiebras de generadoras de energía eléctrica no contempla normas especiales relativas a plantas núcleo-eléctricas. Razones de seguridad, salud y protección del medio ambiente parecen exigir contar con normas más estrictas que aquellas que rigen actualmente la quiebra de una generadora de carácter *esencial*.

5.3. Esquema de participaciones público-privadas conforme a la Ley de Concesiones de Obra Pública

Una vez enunciadas las diversas modalidades de PPP y analizado el sistema legal chileno, podemos concluir que el único mecanismo **general** para dar forma a los esquemas de PPP en nuestro país, incluido uno relativo a la generación núcleo-eléctrica, es actualmente la Ley de Concesiones de Obras Públicas.

Hemos visto que la Ley de Concesiones establece no un BOT, sino un BFO o DBFO, toda vez que la obra pública fiscal no deja nunca de estar bajo propiedad del Estado (no hay *transfer*). Ahora bien, esta limitación no es tan grave por cuanto la Ley de

[198] Comisión Nacional de Energía, *op. cit.*, pp. 105 y ss.

Concesiones es flexible en cuanto a los esquemas de división de riesgos que pueden pactarse en cada caso entre el Estado y el concesionario.

Ahora bien, la aplicación de este sistema a la generación núcleo-eléctrica no está exenta de desventajas, entre ellas:

- No es el sistema ideal para el desarrollo de la generación núcleo-eléctrica, pareciendo aconsejable, como hemos señalado, diseñar un estatuto normativo autónomo o, al menos, complementario para esta actividad dado el interés público comprometido.

- Se incorpora al Ministerio de Obras Públicas a la regulación de la generación núcleo-eléctrica, incluyendo las potestades de vigilancia e inspección de dicho Ministerio sobre los concesionarios.

III. Responsabilidad civil nuclear

En materia de responsabilidad civil nuclear, el informe se divide en tres secciones principales:

(i) La primera sección contiene los resultados del informe de avance N°1, que desarrolló el objetivo establecido en el punto Nº 2.1 de las Bases Técnicas: "*Contar con un análisis jurídico que sintetice la forma de abordar los puntos críticos que ante un eventual ingreso de la energía nuclear implicaría en el contexto de la legislación chilena vigente, identificando para ello, las alternativas existentes en la derecho comparado*".

Para la elaboración de ese primer informe de avance, se analizaron las disposiciones de los Convenios Internacionales vigentes, y en especial aquellos a los que Chile ha adherido o pudiera adherir; el derecho nuclear vigente en Francia, Estados Unidos y Japón, países elegidos por las razones que se exponen más adelante; y, en base a lo anterior, los puntos críticos identificados del derecho nacional en comparación a esa experiencia internacional.

(ii) La segunda sección contiene los resultados del informe de avance N° 2, que desarrolló el objetivo establecido por el punto N° 2.2. de las Bases Técnicas, *"Identificación de los actuales vacíos legales o contradicciones en la legislación nacional aplicable a proyectos nucleares, a la luz del análisis efectuado en el Punto N° 2.1", y la actividad descrita en el punto N° 3.2. de las Bases, "Actividades Mínimas".*

Para la elaboración de este segundo informe, se analizó exhaustivamente el derecho vigente en nuestro país y, en base a los insumos aportados por el informe de avance N°1, relativos a los Convenios Internacionales y derecho comparado, se identificaron los vacíos y contradicciones existentes en la legislación nacional vigente.

(iii) La tercera sección corresponde al informe final que, de acuerdo a las Bases Técnicas, debe dar *"cumplimiento a todos los objetivos específicos y actividades mínimas desarrollados, de acuerdo a las Bases de la Licitación, contenidas en la Resolución Exenta N° 1043, 2009 de la CNE".* En particular, y conforme a lo expuesto en la introducción de este informe, esta sección formula las propuestas normativas pertinentes en la materia.

Con el fin de cumplir tales objetivos, examinaremos en primer lugar la noción de responsabilidad nuclear **(1.),** para después abordar el sistema de responsabilidad establecido en las Convenciones Internacionales **(2.)**, los sistemas de derecho comparado estudiados en esta presentación **(3.)**, la legislación chilena en la materia **(4.)**, y los puntos críticos, vacíos y contradicciones de nuestra legislación nacional **(5.).**

1. Explicación sintética de la noción de responsabilidad civil nuclear

Como se sabe, la responsabilidad civil es un juicio normativo que permite atribuir a una persona los efectos patrimoniales de un daño provocado a otra. Si bien la regla general es que cada quien soporte los perjuicios que provienen de la vida en sociedad, un principio elemental de justicia conduce a imponer la carga de estos daños a un tercero cuando concurren ciertas circunstancias.

Tales circunstancias son las denominadas condiciones de la responsabilidad, esto es, los elementos que deben reunirse para atribuir o trasladar el costo de esos daños al agente.

El derecho civil común, aquel que se aplica a todas las relaciones interpersonales no importando la calidad de los agentes, contiene una regla general y amplísima de responsabilidad civil por negligencia (arts. 2314 y s. Código Civil). Ello significa que cualquier comportamiento que genere daños a la persona o propiedad de otros, puede ser atribuido en sus consecuencias económicas al autor, bajo la condición de que se pruebe una actuación negligente o dolosa.

De esta forma, los tribunales, sobre la base de esas reglas generales, se encuentran habilitados para condenar a la reparación de los daños al agente que los cometió con

negligencia o dolo, con independencia que su conducta o actividad esté o no específicamente tipificada en la ley.

Sin embargo, las actividades generadas por máquinas e instalaciones de elevada peligrosidad han provocado en gran parte del mundo que se llegara a la conclusión de que esas reglas de responsabilidad civil por negligencia fuesen estimadas insuficientes para el resarcimiento adecuado de estos daños. Las máquinas, productos o instrumentos, y las actividades a que dieron lugar –como ocurre con la energía nuclear-, presentan una altísima peligrosidad y pueden generar daños no sólo a una persona determinada, sino provocar una catástrofe en cadena y afectar a un gran número de individuos ubicados incluso en distintos Estados.

Este fenómeno se produce en los más diversos ámbitos: la explotación de la energía nuclear; el transporte de hidrocarburos y de substancias peligrosas; la aplicación de los plaguicidas; las actividades de los centros de transfusión sanguínea y de las instituciones que efectúan intervenciones biológicas en seres humanos, etc.

En todos estos ámbitos se sostienen que las reglas generales de la responsabilidad civil por negligencia no son adecuadas, por cuatro razones esenciales: porque al tratarse de daños generados por una actividad peligrosa, pero que genera ganancias para el explotador, resulta justo que responda de todos los daños, y no sólo de aquellos que produzca por imprudencia; porque la responsabilidad por negligencia involucra la necesidad de que las víctimas deban probar las acciones u omisiones imprudentes que hayan sido el origen del daño, cuestión que muchas veces es imposible en atención a la complejidad técnica de la actividad; porque la responsabilidad por negligencia envuelve varias exenciones o excusas de responsabilidad para el agente, que no son consistentes cuando se trata de una actividad de elevado riesgo como las mencionadas; y, porque al establecer un estatuto más severo de responsabilidad, aunque limitado en monto, se permiten de mejor forma los cálculos actuariales para hacer procedente el seguro, que garantice la reparación a las víctimas.

En efecto, en el ámbito de la energía nuclear la necesidad de establecimiento de un régimen especial de responsabilidad civil surgió de forma coetánea al perfeccionamiento de estas técnicas, primero sobre la base de estimaciones teóricas y luego sobre la constatación fáctica de los enormes daños que generó en 1986 el accidente de Chernóbil.

Los accidentes nucleares tienen las siguientes particularidades, que ameritan que sus efectos en materia de responsabilidad tengan un tratamiento particular:

(i) Son daños de una entidad elevadísima, pues pueden generar la destrucción de poblaciones y ecosistemas, aún cuando son estadísticamente de una probabilidad baja de ocurrencia;

(ii) Son daños masivos, en el sentido que afectan o pueden afectar a poblaciones enteras, al medio ambiente y a la propiedad privada y pública de un gran número de personas y entidades;

(iii) Son daños que no se detienen en las fronteras estatales, pudiendo afectar a regiones enteras; y,

(iv) Por último, son daños que en ocasiones se mantienen en latencia durante largos períodos de tiempo (enfermedades, por ejemplo), manifestándose muchos años después del accidente.

Son estas razones las que ameritan un tratamiento particular de la responsabilidad civil derivada de la actividad nuclear, apartándose del estatuto común de la responsabilidad por negligencia en los siguientes aspectos:

(i) En primer lugar, el que sean daños de una cuantía elevada y de una probabilidad relativamente baja de ocurrencia, justifica el establecimiento de límites a la indemnización que puedan asegurar un resarcimiento, pero al mismo tiempo, no desincentivar el ejercicio de estas actividades.

Al mismo tiempo que establecer límites de indemnización, los sistemas tienden a establecer coberturas de seguros obligatorias, que protejan y garanticen a las víctimas el resarcimiento máximo acordado.

(ii) En segundo lugar, el que sean daños masivos, exige un esfuerzo de definición de las categorías de daños que se repararán, y de sus montos máximos. Asimismo, y en protección de las potenciales víctimas, se prescinde de la culpa o negligencia del explotador para declararlo responsable, siendo suficiente la comprobación del daño y del vínculo de causalidad entre éste y el accidente nuclear.

(iii) En tercer lugar, al ser daños que afectan a personas o grupos humanos que se encuentran en diversos Estados, es exigible un esfuerzo de armonización internacional de las disposiciones y al establecimiento de reglas objetivas y sustantivas que concedan a las víctimas iguales derechos a la reparación y una competencia concentrada en una jurisdicción. Tal finalidad se consigue mediante la adhesión a alguno de los tratados internacionales sobre la materia (Convención de Viena y Convención de París, que establecen regímenes casi idénticos de responsabilidad civil) y el ajuste del derecho interno a sus disposiciones.

(iv) Finalmente, la latencia en el tiempo de ciertos daños graves (cáncer, por ejemplo), justifica el que se establezcan plazos de prescripción diferenciados, prolongando aquellos relativos a los daños corporales.

Por otra parte, un régimen de responsabilidad adaptado a la instalación, operación y desmantelamiento de centrales nucleares, debe guardar coherencia con el régimen de responsabilidad ambiental que se defina como aplicable a las distintas fases de tal proceso. En el fondo, tanto la responsabilidad civil como la responsabilidad ambiental deben examinarse y adaptarse a la luz de las particularidades de la energía nuclear en materia de daños, esto es, la potencialidad de generación de daños graves y masivos para las personas, sus bienes y el medio ambiente.

Es así que los instrumentos internacionales, relativos a la responsabilidad nuclear, asumen estas particularidades, y someten los daños en este ámbito a reglas especiales.

Como se verá en este informe, tanto las convenciones internacionales, como los sistemas comparados analizados, siguen en esencia un esquema de responsabilidad nuclear similar al descrito: una responsabilidad estricta u objetiva, que afecta al explotador, sujeta a límites especiales, y asociada a un sistema de seguro de responsabilidad civil obligatorio. Hemos elegido articular el análisis de los sistemas de responsabilidad expuestos en seis puntos de derecho que nos permitirán comparar los regímenes entre ellos y apreciar sus particularidades. Examinaremos para cada uno de ellos, la noción de accidente nuclear, la noción de daño, el responsable, las exoneraciones, los límites de la responsabilidad, la prescripción y caducidad de las acciones.

2. Descripción de los Convenios Internacionales sobre la materia. Exposición sintética de sus disposiciones esenciales

En materia de responsabilidad por riesgo nuclear, el mundo se divide básicamente en dos grupos.

Por un lado, los países que adhirieron a uno de los dos grupos de instrumentos internacionales existentes en la materia y, por otro, los países que sólo se rigen por sus normas nacionales.

En vista de lo anterior, examinaremos la normativa internacional **(2.1.)**, el régimen de responsabilidad que emana del Convenio de París y de Viena, sus sutiles diferencias **(2.2.)**, y la manera en que se relacionan **(2.3)**. En una cuarta parte, examinaremos el régimen de indemnización del Convenio sobre Compensación Suplementaria (CCS) de 1997 **(2.4.)**.

2.1. Normativa Internacional vigente

(i) Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, de 29 de julio de 1960, enmendada por el Protocolo Adicional de 28 de enero de 1964, por el Protocolo del 16 de noviembre de 1982 y por el Protocolo del 12 de febrero del 2004[199] (en adelante, "Convenio de París " o "CP"). Este Convenio fue el primer instrumento internacional en la materia a ser firmado masivamente. En un inicio fue adherido esencialmente por países de la que devendría un año más tarde la OCDE.

(ii) Convenio Complementario al Convenio de París de 29 de julio de 1960 acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, firmado en Bruselas el 31 de enero de 1963 (en adelante también, "Convenio de Bruselas" o "CB"). Este Convenio, tal como lo indica su nombre, tiene como finalidad el completar las indemnizaciones de las víctimas con dos capas sucesivas de indemnización pública, nacional e internacional.

(iii) Convención de Viena acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Daños Nucleares, de 21 de mayo de 1963[200] (en adelante, "Convención de Viena" o "CV"). Esta Convención, contrariamente a la CP, tenía vocación mundial y fue gestada y adoptada en el marco de la AIEA.

Con la catástrofe de Chernóbil, la comunidad internacional sacó dos grandes conclusiones. La primera es que la cobertura de los daños ofrecida por estos instrumentos era totalmente insuficiente. Además, en vista de la naturaleza fatalmente transfronteriza de los daños nucleares, el sistema de dos Convenios separados no era adecuado. Se desarrolló entonces una serie de instrumentos para paliar estas deficiencias[201].

(iv) Protocolo Común acerca de la Aplicación del Convenio de París y de la Convención de Viena, de 21 de septiembre de 1988[202] (en adelante también "Protocolo Común" o "PC"). Este protocolo extiende los beneficios del Convenio al que ha suscrito el Estado en el que se encuentren las instalaciones a los Estados partes al otro Convenio con la condición que cada uno de esos países haya ratificado el PC.

---

[199] Como veremos más adelante, este último Protocolo de enmienda sólo ha sido ratificado por Suiza en marzo de 2009, y no ha entrado en vigor a la fecha.
[200] Promulgado en Chile por el Decreto n° 18 de 8 de enero de 1990.
[201] Ambos instrumentos fueron objeto de otras enmiendas previas a la década del 90, sin embargo, examinaremos únicamente los protocolos posteriores a Chernóbil en la medida en que aquellos fueron los más significativos.
[202] En vigor desde el 27 de abril de 1992, y promulgado en Chile por el Decreto n°1212 del 30 de septiembre de 1994.

(v) Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares fue aprobado el 29 de septiembre de 1997. El Protocolo entró en vigor el 4 de octubre 2003 y cuenta con sólo 5 ratificaciones[203]. Los cambios introducidos por este instrumento son de dos órdenes. En primer lugar, atañen a los montos mínimos de responsabilidad de los explotadores que son sensiblemente más altos. Además, precisó definiciones de conceptos cruciales para el régimen de responsabilidad, como el daño y el accidente nuclear.

(vi) Convenio sobre Compensación Suplementaria, de 12 de septiembre de 1997 (en adelante también, "CCS"). Paralelamente al Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena, algunos países, liderados por Estados Unidos, impulsaron la elaboración y adopción de un Convenio que tuviera una vocación mundial en el sentido de poder ser adherido por países que todavía no eran parte a ningún instrumento internacional. El régimen de responsabilidad allí estipulado es sustancialmente el mismo que el del grupo CP / CV con formulas flexibles que permitan acoger la originalidad de ciertos países. A la fecha, Estados Unidos es el único país que ha manifestado verdadero interés en este instrumento.

(vii) Protocolo de Enmienda al Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, de 29 de julio de 1960, del 12 de febrero del 2004. En 1997, al terminar el proceso de revisión de la Convención de Viena que se materializó en el Protocolo de Enmienda de 1997, partieron los grupos de trabajo y de negociación de reforma del Convenio de París. Atendida la hermandad existente entre ambos instrumentos, los reformadores del CP se inspiraron fuertemente de las modificaciones aportadas por la Convención de Viena. Este Protocolo no está en vigor ya que solo ha sido ratificado por Suiza en marzo de 2009.

(viii) El Protocolo de Enmienda al Convenio de Bruselas de 1963, de 12 de febrero de 2004. En 1999, partió el proceso de revisión de este instrumento, focalizado esencialmente en aumentar los montos de indemnización complementarios ya establecidos en el Convenio inicial. Tampoco ha entrado en vigor.

2.2 El régimen de Responsabilidad de los Convenios de París y Viena

Como señalamos, ambos instrumentos son prácticamente idénticos y responden a mismos principios de derecho, especialmente después de las modificaciones aportadas por los Protocolos de Enmienda de 1997 (CV) y de 2004 (CP).

[203] Argentina, Bielorrusia, Latvia, Marruecos, Rumania.

Recordemos que la modificación del Convenio de París no ha entrado en vigor, y la de la Convención de Viena sí, pero no ha sido adherida por Chile, por lo que *a priori* podría parecer más pertinente el examinar los regímenes en vigor a la fecha. No obstante, el proyecto nuclear de Chile está en un estado embrionario, y es probable que de concretarse, esto ocurrirá en un plazo no inferior a 10 o 15 años. A esa fecha, es altamente probable que ambas enmiendas estén en vigor en el mundo, y que nuestro país deba adecuarse a su nueva terminología y no a la antigua. En tanto, estimamos pertinente examinar con más detalle el régimen de responsabilidad establecido *in fine* por ambos instrumentos (en adelante el Régimen Final), y en términos más generales el estado en que se está aplicando en la actualidad. Examinaremos a continuación los puntos en los que se estructura el Régimen Final, señalando cada vez las disimilitudes que pueden encontrarse entre los dos instrumentos, y la evolución que ha conocido cada uno de ellos para llegar a ese resultado.

En esta parte analizaremos: **(2.2.1.)** El concepto de accidente nuclear; **(2.2.2.)**El concepto de daño en materia nuclear; **(2.2.3.)** La noción de responsable; **(2.2.4.)** Las exoneraciones del explotador; **(2.2.5.)** Los límites de responsabilidad, y; **(2.2.6)** La prescripción.

2.2.1. El concepto de accidente nuclear

2.2.1.1. El Régimen Final

En el Régimen Final, el Convenio de París [204] y la Convención de Viena[205] tienen definiciones similares pero no idénticas de lo que se llama comúnmente *"Accidente"* Nuclear.

De manera preliminar quisiéramos aclarar un tema puramente semántico. Existe una discusión sobre la denominación en ambos tratados de lo que se debe entender por *"Accidente".* Efectivamente, la Convención de Viena menciona el "*Incidente Nuclear*", mientras que el Convenio de París se refiere al *"Accidente Nuclear*". Pues bien, al revisar las distintas versiones de estos dos instrumentos, nos hemos percatado que efectivamente en castellano se produce esta dicotomía en la denominación. Sin embargo, en la versión en inglés de ambos Tratados, los dos se refieren indiscriminadamente a *"Incidente"*, y en la versión en francés a *"Accidente"*.

Se ha tratado de explicar la diferencia de denominación en castellano por la diferencia en la definición de ambos Convenios.

[204] Artículo I.a.i
[205] Artículo 1. L.

En efecto, el CP define como *"Accidente (/Incidente) Nuclear": "Cualquier hecho o sucesión de hechos que tengan el mismo origen y hayan causado daños nucleares".*

Por su parte, la CV retoma el mismo principio de definición pero le agrega: *"o que, solamente con respecto a las medidas preventivas, hayan creado una amenaza grave e inminente de causar tales daños".* Esta segunda frase podría llevar a pensar que se entiende como incidente:

- todo hecho o sucesión de hecho que haya causado un daño y además y,

- en materia de medidas preventivas – las que asumimos *a priori* que se deben tomar antes que se produzca el daño – los hechos que hayan creado una amenaza grave de causar daño.

Al incluir en su definición las amenazas de daños, podríamos entender que sería más amplia, lo que justificaría la apelación de *"incidente".* No obstante, tal no es el caso. Sólo se está refiriendo, en nuestra opinión, a medidas de prevención frente a amenazas de agravar un daño ya producido o de generación de uno que no se ha provocado.

En ambas definiciones, lo que se denomina *"incidente*" o *"accidente",* se refiere a hechos que efectivamente han producido un daño. Lo que hace la segunda oración de la definición de la CV es contemplar las medidas de prevención frente a amenazas, tal como se desarrolla más adelante.

Concluimos en consecuencia que, en cierta medida la CV es más precisa que el CP, en cuanto califica como accidente nuclear las medidas de prevención, pero ello no es el motivo de la apelación "*Incidente*", que como señalamos sólo se produce en la traducción castellana.

2.2.1.2. Disposiciones anteriores a los Protocolos

En el CP esta definición era más extensa[206] e incluía en su definición la proveniencia de estos hechos. El Protocolo de Enmienda del año 2004 amputó todo lo relativo a la proveniencia u origen de los hechos calificados como accidente. Estos elementos fueron trasladados a la definición de daño.

[206] "Todo hecho o sucesión de hechos del mismo origen que hayan causado daños nucleares, en cuanto ese hecho o sucesión de hecho o ciertos daños causados provienen o resultan de propiedades radioactivas, o a la vez de las propiedades radioactivas y tóxicas, explosivas u otras propiedades peligrosas de combustibles nucleares o productos o residuos radioactivos (…) "

Por su parte, la CV anteriormente contaba solamente con la primera oración relativa a los hechos que han producido daños.

2.2.2. El concepto de daño en materia nuclear

2.2.2.1. El Régimen Final

Ambos instrumentos coinciden en la definición general de daño y en la determinación del origen del daño. Respecto a esto último, el CP estipula al final de la definición[207], mientras que cuando la CV lo hace en el punto i) de la suya[208].

En cuanto al daño mismo, ambas definiciones coinciden en considerar como daños:

- *"Muerte o daño físico a las personas;*
- *Pérdida o daño de los bienes;*
  y cada uno de los daños que se indican a continuación en la medida determinada por la legislación del tribunal competente:"
- *"Toda pérdida económica que se derive de un daño incluido en los apartados 1 y 2 anteriores, siempre que no esté comprendida en dichos apartados, si dicha pérdida ha sido sufrida por una persona que legalmente está facultada para demandar la reparación de los daños citados;*
- *El coste de las medidas de restauración del medio ambiente degradado excepto si dicha degradación es insignificante, si tales medidas han sido efectivamente adoptadas o deban serlo y en tanto dicho coste no esté incluido en el apartado 2 anterior;*
- *El lucro cesante directamente relacionado con un uso o disfrute del medio ambiente que resulte de una degradación significativa del mismo siempre que no esté incluido en el apartado 2 anterior;*
- *El coste de las medidas preventivas y cualquier pérdida o daño causado por tales medidas, tratándose de la radiaciones ionizantes emitidas por una fuente de radiaciones que se encuentre en el interior de una instalación nuclear; o emitidas por combustibles nucleares o productos o desechos radioactivos que se encuentren en una instalación nuclear o por sustancias nucleares que procedan, se originen o se envíen a una instalación nuclear, tanto si la pérdida o daño haya sido causado por las propiedades radioactivas de estas sustancias o por una*

[207] "en la medida en que el daño sea proveniente o resulte de radiación ionizante emitida por toda fuente de radiación que se encuentre en la instalación nuclear (…)".
[208] "como resultado directo o indirecto de las propiedades radiactivas o de su combinación con las propiedades tóxicas, explosivas u otras propiedades peligrosas de los combustibles nucleares o de los productos o desechos radiactivos que se encuentren en una instalación nuclear, o de las sustancias nucleares que procedan de ella, se originen en ella o se envíen a ella".

combinación de dichas propiedades con las propiedades tóxicas, explosivas o peligrosas de estas sustancias."

Como podemos observar, ambos instrumentos ampliaron ostensiblemente los tipos de daños, cubriendo prácticamente todo lo que se pueda imaginar. Sin embargo, en lo que respecta a los daños distintos a la "muerte o daño físico" y la "pérdida o daño a los bienes", la apreciación de su amplitud puede recaer en los tribunales nacionales. Concluimos en consecuencia que, estas categorías de perjuicios no pueden ser excluidas del régimen de responsabilidad civil en materia nuclear, pero las legislaciones y tribunales nacionales pueden incidir en la apreciación de la extensión de su reparación. Podríamos, por ejemplo, imaginar que legislaciones nacionales puedan disponer de indemnizaciones limitadas a sumas predeterminadas para daños ambientales, tal como se expone más adelante.

Debemos precisar que la Convención de Viena insertó una cláusula adicional[209] cuya finalidad no queda del todo clara:

"cualquier otra pérdida económica que no sea una pérdida causada por el deterioro del medio ambiente, si ello estuviese autorizado por la legislación general sobre responsabilidad civil del tribunal competente".

En efecto, la definición de ambos instrumentos despliega una gran acuciosidad, detallando numerosas situaciones que entran en la definición, tal como medidas preventivas, lucro cesante directamente relacionado con el medio ambiente, medidas de restauración del medio ambiente y otras pérdidas económicas. Por lo tanto, es difícil entender la utilidad de esta cláusula adicional tan amplia. Algunos autores piensan que se trata de una cláusula del tipo *"catch-all"*, que permita a los Estados abordar daños nuevos no definidos por la CV[210].

Vinculado al concepto de daño está la causalidad de estos. En efecto, dependiendo del grado de causalidad exigible, se restringe o extiende la noción de daño.

En lo que respecta este tema, el Convenio de París, en sus diversas redacciones, nunca ha formulado una clara alusión a la naturaleza directa o indirecta del daño como condición de la reparación. En su versión inicial, se limitaba a señalar que los daños debían resultar o provenir de las propiedades radiactivas del combustible nuclear, desechos o productos, no existiendo ningún indicio relativo al carácter directo o

[209] Artículo (1) (k) (viii).
[210] Dussart-Desart, Roland, "La réforme de la Convention de París sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire et de la Convention Complémentaire de Bruxelles – Un des principaux éléments de modernisation", *Bulletin de Droit Nucléaire*, n°75 p. 7.

indirecto del daño. En su nueva redacción (después de la enmienda), tampoco aborda la condición de la causalidad.

Las disposiciones de este instrumento se pueden interpretar de dos formas distintas.

Por una parte, atendido el silencio del Convenio de París en la materia, podría utilizarse el artículo 11° del mismo para interpretarlo. Este artículo dispone, esencialmente, que la naturaleza, forma y extensión de la indemnización están regidas por la legislación nacional interna. Así, podríamos concluir que se deben aplicar las disposiciones nacionales en materia de "extensión del daño", cuestión que en Chile, y en la gran mayoría de los países, apunta indiscutiblemente a una causalidad exclusivamente directa.

Por otra parte, puede otorgársele al silencio del Convenio de París el sentido, precisamente, inverso. En efecto, utilizando su artículo 9°, que dispone que el explotador no será responsable de los daños nucleares "directamente" causados por conflictos armados, podría darse a entender con ella que en la medida en que dicha disposición precisa la necesidad de la vinculación "directa" del conflicto armado con los daños exonerados, la regla general de ese instrumento sería considerar como suficiente una causalidad directa o indirecta.

Por su lado, la Convención de Viena señala que "*los daños y perjuicios se produzcan como resultado de la radiación ionizante emitida por cualquier fuente de radiación*", excluyendo toda referencia a la naturaleza directa o indirecta del daño. Esta formulación es fruto de una modificación importante realizada por el Protocolo de Enmienda del 97. Al omitir la naturaleza directa o indirecta del daño entendemos que la causalidad se restringiría solamente a los daños directos, lo que es la regla general.

2.2.2.2. Disposiciones anteriores a los Protocolos

En ambos instrumentos la definición de daño era insuficiente antes de sus respectivas reformas, refiriéndose esencialmente a la muerte o daño físico a las personas y la pérdida o daño de los bienes.

Esto mantenía una situación de gran disparidad entre las distintas legislaciones nacionales, ya que cada una de ellas tiene un concepto de daño ambiental o lucro cesante distinto, por ejemplo. En tanto, la indemnización de las victimas quedaba en gran parte, subordinada al país en que se produjera el daño, lo que era una situación de injusticia insostenible para estos instrumentos internacionales.

En lo que concierne la causalidad, como señalamos, el Convenio de París no ha conocido cambio alguno. No obstante, la Convención de Viena señalaba en su versión

anterior que se calificarían como daños aquellos que fueran efectos "*directo o indirecto de las propiedades radiactivas o de su combinación con las propiedades tóxicas, etc.".*

2.2.3. La Noción de Responsable

2.2.3.1 El Régimen Final

En ambos Tratados[211] se consagra la regla general en la materia, esto es, la concentración de la responsabilidad en la persona del explotador, por todos los daños ocurridos que involucren tanto sus instalaciones como sus productos. Se entiende por explotador *"la persona designada o reconocida por el Estado de la instalación como explotador de dicha instalación".*

Su responsabilidad se extiende a los daños producidos por:

- Accidentes ocurridos en sus instalaciones: y,

- Sustancias nucleares provenientes de sus instalaciones[212]

Geográficamente, por tanto, esta responsabilidad atañe los sitios de sus instalaciones, cuando el accidente se haya producido allí, así como lugares externos a ellas, cuando el accidente involucra sustancias nucleares del explotador, lo que claramente concierne el caso de transporte de sustancias nucleares[213]. En cuyo caso el explotador sigue siendo responsable de los daños producidos por sustancias provenientes o con destino a de sus instalaciones, pero que sean transportadas fuera de las instalaciones, donde quiera que esto sea.

Esta regla general de responsabilidad exclusiva del explotador sólo conoce contadas excepciones.

---

211 Artículo 3. a). *"El explotador de una instalación nuclear será responsable en conformidad al presente Convenio de todos los daños nucleares excepto (…)."*

212La noción de instalación es similar en ambos textos. El artículo I. 1. (j) de la CV, y I (a) (ii) del CP disponen que debe ser considerado como instalación:
Los reactores, excepto los que forman parte de un medio de transporte;
Toda fábrica que utilice combustible nuclear para la fabricación de sustancias nucleares;
Las fábricas de tratamiento de combustibles nucleados irradiados;
Las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares con exclusión de almacenamiento de estas sustancias durante su transporte;
Las instalaciones destinadas al almacenamiento definitivo de sustancias nucleares, incluidos los reactores, fábricas e instalaciones que están en proceso de clausura.

213 artículo 4° del Convenio de París y II. 1. (a) (b) (c) de la Convención de Viena.

En primer lugar, su responsabilidad cesa cuando:

- El destinatario de las sustancias nucleares ha asumido la responsabilidad civil por daños nucleares a través de un contrato escrito, o

- Cuando el destinatario se ha hecho cargo de las sustancias nucleares, o

- En caso que el destinatario se encuentre en un país que no es parte de los Convenios, y las sustancias hayan sido efectivamente descargadas del medio de transporte en el que llegaron.

El CP establece una condición suplementaria al sistema de transferencia de responsabilidad antes descrito. Esta transferencia sólo surtirá efectos en caso en que el explotador que la esté asumiendo justifique un interés económico en ella. Según la opinión de algunos autores, esta cláusula tiene por objeto poner término a ciertas prácticas inescrupulosas de algunos Estados partes al Convenio de París, que consistían en designar explotadores destinatarios en Estados que gozaban de montos de indemnización mucho más bajo que los suyos[214].

Los Convenios disponen también la posibilidad de que el explotador pueda consentir en transferir su condición a un tercero, transportista o manipulador de elementos radiactivos. Este tercero será entonces considerado como explotador. Los Estados partes tienen que disponer esta facultad en sus legislaciones nacionales.

En cuanto a la extensión geográfica, ambos instrumentos revisaron este punto para llegar a un régimen similar pero formulado distintamente.

La CV[215] eligió una formulación amplia y general, con la posibilidad de dos exclusiones:

"1. La presente Convención se aplicará a los daños nucleares independientemente del lugar donde se hayan sufrido.

2. La legislación del Estado de la instalación podrá, no obstante, excluir de la aplicación de la presente Convención los daños sufridos:

[214] Dussart-Desart, Roland, "La réforme de la Convention de París sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire et de la Convention Complémentaire de Bruxelles – Un des principaux éléments de modernisation » ", *Le droit Nucléaire après Tchernobyl*, Publication OCDE / NEA, 2006.
[215] Modificación realizada por el Protocolo de enmienda de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares fue aprobado por una Conferencia Diplomática celebrada del 8 al 12 de septiembre de 1997.

a) en el territorio de un Estado no Contratante;

b) en cualesquiera zonas marítimas establecidas por un Estado no Contratante de acuerdo con el derecho internacional del mar.

3. Una exclusión con arreglo al párrafo 2 del presente artículo sólo podrá aplicarse con respecto a un Estado no Contratante que en el momento del incidente:

a) posea una instalación nuclear en su territorio o en cualesquiera zonas marítimas que haya establecido de acuerdo con el derecho internacional del mar;

b) no conceda beneficios recíprocos equivalente."

Por su lado, las disposiciones del CP son aplicables:

- A los países Partes al Convenio

- A los países Parte de la Convención de Viena y al Protocolo Común, siempre y cuando el país de origen del explotador sea parte a ellos.

- A los países no partes del Convenio pero que no cuentan con instalaciones nucleares.

- A los países no partes del Convenio pero que ofrecen garantías similares o equivalentes a las del Convenio de París, vale decir, la responsabilidad objetiva y exclusiva del explotador, el reconocimiento de los laudos extranjeros y la libre transferencia de las indemnizaciones.

Como vemos, la CV optó por una disposición amplia con restricciones, en cambio el CP optó por una disposición restringida pero detallada, aunque ambas tienen un resultado similar.

2.2.3.2. Las disposiciones anteriores a los Protocolos

La única modificación introducida por los Protocolos ha sido la inserción de la condición de interés económico en el Protocolo de enmienda al Convenio de París del 2004.

En cuanto a la extensión geográfica, inicialmente el régimen de responsabilidad dispuesto por el Convenio de París sólo era aplicable en los países partes de él, excepto si el país no adherido disponía reglas más generosas.

Por su lado, la Convención de Viena guardaba un prudente silencio respecto al ámbito de aplicación geográfica de sus disposiciones, por lo que su ámbito de aplicación natural, en conformidad la Convención de Viena de 1969 sobre la aplicación de los Convenios Internacionales, se limitaba al territorio del Estado Parte, aeronaves y navíos matriculados en él.

2.2.4. Las exoneraciones del explotador

2.2.4.1 El Régimen Final

Tanto en el Convenio de París como en la Convención de Viena, las exoneraciones a favor del explotador son mínimas. En ninguno de los dos existe una cláusula general de fuerza mayor, como en otros regímenes de responsabilidad.

En ambos instrumentos, las exoneraciones son de dos órdenes:

a) Relativas a la naturaleza del daño[216]

- El explotador no responde por los daños causados a la instalación nuclear misma, así como a otras instalaciones nucleares que se encuentren en el sitio.
- Tampoco es responsable de los daños a los bienes que, encontrándose en el sitio de la instalación, están destinados al funcionamiento de ésta.

b) Relativas al hecho que ha causado el daño

- El artículo 9 del Convenio de París y el artículo IV. 3. (a) de la Convención de Viena excluyen, en términos similares la responsabilidad del explotador siempre y cuando el accidente haya sido causado directamente por un conflicto armado, hostilidades, guerra civil o insurrección.

  Este es, sin duda, el caso más claro de exoneración de responsabilidad del explotador.

- En cuanto a la posible exoneración del explotador por la intervención culposa o dolosa de un tercero, está severamente limitada en ambos instrumentos[217]. Esta queda limitada a los casos en que: el tercero es una persona física; la culpa de éste es intencional; y, sólo en los casos en que los Convenios exoneran al explotador (daños a las instalaciones nucleares, daños causados por guerras y hostilidades). Estas circunstancias deben ser cumulativas.

[216] Artículo 3° a) del Convenio de París , y IV. 5. en la Convención de Viena.
[217] Artículo 6° del Convenio de París , y IV. 7. De la Convención de Viena.

- En ambos tratados[218] el explotador puede exonerarse total o parcialmente si la persona que sufrió los daños los produjo o contribuyo a ellos por negligencia grave o por acción u omisión dolosa, en la medida en que la legislación interna así lo disponga.

2.2.4.2. Disposiciones anteriores a los Protocolos

Ambos instrumentos preveían inicialmente una causal adicional de exclusión de responsabilidad debido a *"cataclismos naturales de carácter excepcional*". En ambos Convenios esta causal fue eliminada. Efectivamente, se considera que los explotadores deben adecuar sus instalaciones a la realidad natural que los rodea. Por lo demás, los hechos de la naturaleza no son del todo imprevisibles.

La Convención de Viena, como ya señalamos, ha agregado también la obligación expresa para el explotador de probar la causalidad directa de los conflictos armados, hostilidades, guerra civil o insurrección con los daños.

2.2.5. Límites de responsabilidad

Evocaremos muy brevemente los montos de indemnización establecidos en los convenios CP y CV, ya que éstos serán tratados de manera detallada en la segunda parte de este informe.

2.2.5.1. El Régimen Final

En ambos instrumentos, la indemnización de los daños está limitada a ciertos montos determinados.

a) Para instalaciones nucleares regulares

- El Convenio de París establece un monto mínimo de indemnización de 700 millones de Euros por evento.

[218] La Convención de Viena dispone en su artículo IV lo siguiente: *"Si el explotador prueba que la persona que sufrió los daños nucleares los produjo o contribuyó a ellos por negligencia grave o por acción u omisión dolosa, el tribunal competente podrá, si así lo dispone su propia legislación, exonerar total o parcialmente al explotador de su obligación de abonar una indemnización por los daños sufridos por dicha persona"*.

- La Convención de Viena establece un monto mínimo de 300 millones de DEG, con la posibilidad para cada Estado de rebajar ese umbral a 150 millones de DEG siempre cuando el Estado garantice la diferencia con fondos públicos.

Ambos Convenios introdujeron una interesante originalidad en lo que concierne los topes de indemnización. En efecto, el artículo VIII. 2. señala que en caso que el valor de los daños producido sea superior al tope de responsabilidad del explotador, se dará prioridad a las víctimas por daños personales. Este régimen favorable a las víctimas de daños físicos fue fuertemente discutido, mas se inscribe ciertamente en el movimiento general de construcción de un régimen no especial, pero sí favorecido para las víctimas de daños corporales en materia de responsabilidad extracontractual.

b) Para instalaciones nucleares de riesgo reducido

Ambos instrumentos prevén un monto mínimo de indemnización diferenciado para las instalaciones que pudieran ser consideradas de riesgo reducido, como señala expresamente el CP, o atendido la naturaleza de la instalación o materiales allí manipulados, como señala menos específicamente la CV.

El CP fija ese monto a 70 millones de Euros, y la CV a 50 millones de DEG pero con garantía de fondos públicos para el tramo 50/300 millones de DEG.

c) Para países no Partes del Convenio

Existe aquí una diferencia de trato entre el CP y la CV.

El primer instrumento dispone de un trato diferenciado a los países no Contratantes que no cuenten con garantías similares, en cuyo caso, el límite de la indemnización para el explotador puede ser rebajado a 70 millones de Euros.

Al contrario, la CV no hace ninguna diferencia y dispone explícitamente que: *"Los importes estipulados por el Estado de la instalación del explotador responsable de conformidad con los párrafos 1 y 2 del presente artículo y el párrafo 6 del artículo IV se aplicarán independientemente del lugar en que haya ocurrido el incidente nuclear".* Es decir los montos mínimos fijados por el Convenio se conservan, independientemente, del lugar en que se produjo el accidente.

d) Para los transportistas de sustancias nucleares

Como vimos, la responsabilidad del explotador no cesa sino a favor de otro explotador, lo que deja al margen una eventual responsabilidad personal del transportista. No obstante, el transporte de materiales radioactivos sigue siendo una

actividad altamente riesgosa por lo que ambos convenios previeron disposiciones particulares.

- La responsabilidad del explotador en caso de accidente con ocasión del transporte no puede ser inferior a 80 millones de Euros, y 150 millones de DEG[219], sin perjuicios de montos mayores que puedan ser adoptados por las legislaciones nacionales de los Estados Partes.

- El Convenio de París dispone explícitamente la posibilidad para un Estado Parte de condicionar el tránsito de sustancias nucleares al aumento del monto máximo de responsabilidad del explotador si estima que este monto no es adecuado. El monto exigido no puede exceder el monto máximo de responsabilidad del explotador aplicable en este Estado Parte.

2.2.5.2. Las disposiciones anteriores a los Protocolos

En el Convenio de París inicialmente el monto de la indemnización estaba fijado en DEG[220], lo que no resultaba especialmente lógico para un Convenio que tenía por principal territorio de aplicación Europa (efectivamente antes de la aparición del Euro, la cesta de monedas que componían el DEG contaban con tres monedas europeas sobre cinco, pero que solo contaban con 50% del valor de la cesta).

El Protocolo de Enmienda del CP del año 2004 cambió el valor DEG por el EURO. En lo que concierne la Convención de Viena, inicialmente los montos de indemnización eran fijados en dólares americanos, valor que a su vez fue cambiado por el DEG.

Además, los montos de indemnización en ambos Convenios eran sensiblemente más bajos[221].

[219] Artículo IV (6) de la CV y 7 (d) del CP.
[220] Derechos Especiales de Giro: es un activo internacional de reserva creado por el FMI en 1969 (en virtud de la primera enmienda del Convenio Constitutivo). El valor del DEG se fija diariamente en función de una cesta de cuatro monedas principales: euro, yen japonés, libra esterlina y dólar de E.E.U.U.
[221] Ver *infra*.

2.2.6. Prescripción

2.2.6.1. Régimen Final

Al igual que en los otros temas centrales que hemos tratado, los Convenios estudiados en esta sección tienen los mismos plazos de prescripción que las acciones.

Los artículos 8 del Convenio de París y VI de la Convención de Viena señalan, a grandes rasgos, que las acciones por indemnización de perjuicios por daño nuclear deben ser interpuestas:

- En caso de daño o muerte de personas, 30 años a contar de la fecha del accidente,

- En caso de otros daños nucleares, 10 años a contar del accidente.

Estos plazos pueden ser extendidos por la legislación nacional con la condición que el Estado movilice fondos públicos para garantizar la responsabilidad del explotador que exceda los plazos establecidos.

Ambos instrumentos prevén también la posibilidad para los Estados de elegir un plazo de caducidad de la acción de tres años a contar de la fecha en que la víctima haya tenido conocimiento del daño, o a contar de la fecha estimada en que esta debió razonablemente haber tenido conocimiento de ello.

2.2.6.2. Disposiciones anteriores a los Protocolos

En un principio, ambos Convenios tenían plazos de prescripción muy inferiores a los revisados.

El CP y la CV tenían un plazo de prescripción de 10 años para todo tipo de daño nuclear, excepto para los daños causados por materias nucleares perdidas o robadas, caso en que el plazo se elevaba a 20 años.

Cada Estado tenía la posibilidad de extender este plazo en su legislación nacional, con la condición que dicho Estado adoptase las medidas necesarias para cubrir el tiempo restante. Esta disposición está claramente vinculada a la posibilidad para los explotadores de conseguir un seguro que exceda los 10 años, tema que será tratado más adelante.

En cuanto al plazo de caducidad de la acción, la CV señalaba que éste no podría ser inferior a tres años desde que la víctima hubiese tomado conocimiento del daño, o se pueda considerar que debió razonablemente haber tomado conocimiento de él. Por su lado, el CP estipulaba un plazo mínimo de dos años.

2.3. El Protocolo Común de 1988

Con fecha 21 de septiembre de 1988, se adoptó un instrumento internacional que permite y organiza la aplicación recíproca de los Convenios de París y Viena.

Es un texto breve que dice básicamente que en caso de accidente nuclear en territorio de un país parte de uno de los Convenios, la responsabilidad de explotador se regirá según las disposiciones del Convenio del Estado de origen, pero beneficiará las partes del otro Convenio[222]. Es decir, a cada explotador se le deberán aplicar las disposiciones del Convenio al que el Estado en que reside es parte, pero si los daños transcendieran fronteras, los países víctimas podrían accionar la responsabilidad del explotador aunque sean parte del otro Convenio.

Esta aplicación recíproca está evidentemente reservada a los países que sean parte de uno de los Convenios y que hayan ratificado el Protocolo. Es bueno mencionar que los países parte de la Convención de Viena, en su gran mayoría, han ratificado este instrumento, al contrario los países parte al Convenio de París, han tardado considerablemente más[223].

2.4. El Convenio sobre Compensación Suplementaria (CCS)

Este instrumento, como hemos señalado, fue adoptado el 27 de septiembre de 1997, pero ha sido objeto de un modesto entusiasmo en la comunidad internacional. Ningún otro país distinto a Estados Unidos ha iniciado su trámite de ratificación.

A pesar de su escaso éxito, es necesario exponer a grandes rasgos sus principios.

En primer lugar, el CCS es un instrumento autónomo de vocación mundial. Es decir, no está subordinado a ningún otro tratado existente, pero puede ser firmado por países que sí son Partes de éstos.

---

[222] Artículo II del Protocolo: *"a) el explotador de una instalación nuclear situada en el territorio de una Parte en la Convención de Viena será responsable, conforme a dicha Convención, de los daños nucleares sufridos en el territorio de una Parte a la vez en el Convenio de París y en el presente Protocolo;*
b) el explotador de una instalación nuclear situada en el territorio de una Parte en el Convenio de París será responsable, conforme a dicho Convenio, de los daños nucleares sufridos en el territorio de una Parte a la vez en la Convención de Viena y en el presente Protocolo."

[223] Al 21 de julio de este año 2009, todavía faltaba Gran Bretaña, Suiza, España, Alemania y Francia.

De un punto de vista jurídico, adopta los principios fundamentales que sostienen los Convenios de Viena y París, es decir:

- La concentración de la responsabilidad por daños nucleares en la persona del explotador
- El carácter objetivo de la responsabilidad de éste
- Montos de indemnización limitados.
- Obligatoriedad del seguro

Puede parecer llamativo que se haya elaborado un nuevo tratado sobre responsabilidad civil en materia nuclear, que establece un régimen de responsabilidad similar al que ya existe en dos otros instrumentos, que a lo menos para uno de ellos, podría ser firmado por cualquier Estado del mundo.

Pues bien, desde nuestro punto de vista, el interés – tal vez el único –de este nuevo instrumento es su relativa flexibilidad en cuanto, precisamente, a estos principios, lo que permitiría su adopción por países que no son Parte de ningún tratado por tener legislaciones internas originales. Esta flexibilidad es articulada por el Anexo del texto, el que dispone en su artículo 2°:

> *"Se entenderá que el derecho nacional de una Parte Contratante está en conformidad con las disposiciones de los artículos 3, 4, 5 y 7 cuando contenga y siga conteniendo disposiciones que hayan estado en vigor el 1 de enero de 1995:*
>
> *a) que establezcan una responsabilidad estricta para el caso de un incidente nuclear en que existan daños nucleares materiales fuera del emplazamiento de la instalación nuclear en que haya ocurrido el incidente;*
>
> *b) que exijan la indemnización de parte de todas las demás personas que no sean el explotador responsable de los daños nucleares en la medida en que esas personas tengan la responsabilidad legal de pagar indemnización;*
>
> *c) que garanticen la aportación de por lo menos 1 000 millones de DEG con respecto a una central nuclear civil y por lo menos 300 millones de DEG con respecto a otras instalaciones nucleares civiles para dicha indemnización."*

Esta formulación general permite, por ejemplo, la adhesión de Estados Unidos a este instrumento. Este país – como veremos más adelante – tiene un régimen de

responsabilidad civil en materia nuclear que no es compatible con ninguno de los dos tratados. En efecto, en Estados Unidos contrariamente a los Estados parte de la comunidad CP / CV, la responsabilidad jurídica en materia de responsabilidad por daños nucleares no está canalizada en la persona del explotador. En EE.UU. pueden existir varias personas jurídicamente responsables, no obstante, el costo económico de esta responsabilidad está *in fine* canalizado en la persona del explotador. Es una responsabilidad económica y no jurídica. Finalmente el resultado es el mismo, pero obedece a otro principio.

3. Sistemas jurídicos comparados

En esta sección examinaremos: **(3.1.)** Los criterios de selección de los sistemas jurídicos comparados; **(3.2)** La responsabilidad nuclear en Francia**; (3.3)** La responsabilidad nuclear en Estados Unidos; **(3.4)** La responsabilidad nuclear en Japón.

3.1. Criterios de selección de los sistemas jurídicos comparados

Como vimos en la sección anterior, los principios de derecho que articulan la responsabilidad nuclear que comparten el Convenio de París y de Viena son fundamentalmente cuatro:

- La responsabilidad es de naturaleza objetiva, sin culpa
- La responsabilidad está limitada a montos determinados
- El actor responsable está previamente designado
- El ejercicio de actividades nucleares requiere un seguro obligatorio

En vista de lo anterior, y para el análisis comparado de sistemas jurídicos que efectuaremos en esta sección, hemos considerado procedente elegir tres países representativos de distintos sistemas de responsabilidad, y de las relaciones entre ésta y los sistemas de seguros y garantías.

Por un lado, era necesario analizar países representativos de modelos de responsabilidad civil nuclear provenientes de tradiciones jurídicas diversas (derecho continental y *common law*), pues ellas permitirían vislumbrar cómo sistemas parcialmente antagónicos han hecho esfuerzos para ajustar su regulación a las exigencias internacionales, ya sea porque tal exigencia proviene de la adhesión a uno de los mencionados Convenios sobre responsabilidad nuclear, o porque ella viene

impuesta por las particularidades descritas de la responsabilidad nuclear y de su cobertura.

Por otro, dando cuenta del estrecho vínculo que en materia nuclear se presenta entre responsabilidad (que responde a la lógica del derecho de daños) y las garantías (que responde en esencia a la lógica del derecho contractual de los seguros), era indispensable dar cuenta de las distintas relaciones que pueden establecerse entre ellos, esto es, entre responsabilidad civil y seguros privados, y entre éstos y las garantías estatales y fondos internacionales.

Era además relevante contar con un examen de países que tienen distintas aproximaciones a los Convenios Internaciones en materia de responsabilidad civil nuclear: desde una amplia, formal y fiel adhesión a sus términos, hasta una distancia reflejada en su no adhesión formal, aún cuando en la práctica se inspiren de ellos para fijar su regulación interna.

(i) En vista de lo anterior, nos pareció evidente, ante todo, estudiar en profundidad el derecho francés, por las siguientes razones:

- Francia es una potencia nuclear mundial, y es parte del Convenio de París, suscrito en el marco de la OCDE, grupo de países al que Chile acaba de entrar.

- El sistema de responsabilidad civil nuclear francés parte de supuestos similares a los del derecho nacional, pues compartimos unos mismos principios y reglas esenciales en materia de responsabilidad civil de derecho común. Ambos son sistemas codificados y sustentados en un principio general de responsabilidad civil por culpa.

- En efecto, es cierto que Andrés Bello, preocupado de no descuidar las referencias españolas en las fuentes del Código, afirmó que para redactar los artículos 2314 y siguientes del Código Civil chileno tuvo presente las normas de las Siete Partidas. Pero en esta materia las Partidas eran casuísticas, como su fuente romana, y en realidad la verdadera inspiración de las reglas del Código Civil chileno se encuentra en las normas del Código Civil francés. Así, ambos sistemas fundan la responsabilidad civil general en una amplísima regla de responsabilidad por *culpa* o *negligencia*. Recibiendo una formulación jurídica en las obras de Domat y Pothier, esta regla general de responsabilidad, que comparten ambos sistemas, fue recogida solemnemente en la impecable fórmula del artículo 1382 del Código Civil francés: *"Todo hecho cualquiera del hombre, que causa daño a otro, obliga a quien por cuya culpa ocurrió a repararlo".* Más aún, ambos sistemas reconocen en esencia el mismo sistema de responsabilidad en cuanto a presunciones de responsabilidad, daños reparables y responsabilidades

especiales.

- A partir de las mismas reglas jurídicas sobre la responsabilidad civil extracontractual fundada en la culpa, la doctrina y la jurisprudencia de Francia y Chile desarrollaron el derecho de daños. Es más, no sólo el derecho chileno tomó en la materia las disposiciones originales francesas, sino que las interpretó a la luz de las doctrinas y jurisprudencia francesas, como lo prueba la más importante obra sobre la materia escrita por Arturo Alessandri[224], cuestión que se repite hasta el presente[225]. Es así como las nociones de "daño moral" o la misma teoría de regímenes de responsabilidad estricta, resultan en el derecho nacional directamente tributarias del derecho francés.

- Por ello, nos pareció del todo lógico, dado los vínculos históricos entre el derecho francés y el derecho chileno en materia de responsabilidad civil, examinar cómo ese sistema comparado, a partir de nuestros mismos principios y reglas, ha adaptado el régimen general de responsabilidad a las exigencias de la bien desarrollada industria nuclear de ese país. En particular, partiendo de una misma raíz de tradición jurídica, su examen nos permite percibir los ajustes que es necesario realizar en el derecho interno para adaptarlos a las exigencias de los Convenios Internacionales, que contienen un régimen particular de responsabilidad nuclear, que hace excepción a gran parte de los principios del derecho común que son reconocidos en Francia y en Chile.

- Para dar un ejemplo de la pertinencia de este análisis, cabe tener presente que los Convenios Internaciones plantean ciertas exigencias en cuanto a los daños reparables, que se oponen parcialmente a los desarrollos jurisprudenciales presentes en ambos países, tal como se expondrá más adelante.

- Por otra parte, el derecho francés, si bien es parte del Convenio de París, ha cuidado de ajustar sus disposiciones al derecho interno mediante una legislación especial que recoge sus reglas esenciales, adaptándolas a la realidad del derecho interno. Tal opción, como se expondrá, parece del todo pertinente en el caso nacional, y por ello conviene analizarla en detalle.

- Por lo demás, aún cuando la propiedad de las plantas de generación eléctrica nuclear se encuentra en lenta mutación de un esquema público hacia uno mixto, la existencia de un estatuto común de responsabilidad aplicable con independencia de esa propiedad plantea una solución adaptada, y que resuelve las incertidumbres que puede producir en la materia la intromisión de la

[224] Alessandri Arturo, *De la responsabilidad extracontractual en el derecho civil chileno*, Santiago, Imprenta Universitaria, 1943.
[225] Tapia Mauricio, "Le droit civil chilien et ses liens avec le droit français", *inédito*.

responsabilidad del Estado. Tal solución también es una vía aconsejable para resolver ese problema en el derecho nacional, y por ello también es justificable ese análisis.

- Finalmente, la elección del derecho francés como objeto de análisis también se justifica en su particular sistema de cobertura de los daños, que conjuga los seguros privados, las garantías estatales y los fondos de indemnización internacionales. Tal relación entre responsabilidad nuclear y garantías obedece a un modelo particular, cuya pertinencia en el caso chileno será abordada en la sección respectiva de este informe. Para los efectos de este apartado, baste con señalar que tal elección tiene también, en consecuencia, una justificación desde la perspectiva del análisis de los vacíos y contradicciones en materia de seguros y garantías estatales.

(ii) De la misma manera, nos pareció necesario examinar el derecho norteamericano de responsabilidad civil, por las siguientes razones:

- Ante todo, Estados Unidos constituye la primera potencia nuclear mundial.

- Luego, geográficamente en Estados Unidos las centrales están expuestas a riesgos naturales similares a los que tendrían en nuestro país (al menos en algunos Estados), cuestión que amerita su examen detallado.

- Por otra parte, Estados Unidos responde a una tradición jurídica en materia de responsabilidad civil diversa a la continental, fundada en los precedentes jurisprudenciales. Los jueces del *common law* se resisten a expresarse en términos generales y a salir de los precedentes históricos, y sospechan incluso de las expresiones indeterminadas del legislador, porque en su parecer esconden una voluntad condescendiente y didáctica. Su derecho de la responsabilidad civil es parcelario y casuístico, fundado en la repetición de soluciones en áreas diversas.

- De esta diferente tradición jurídica derivan varias consecuencias que se reflejan en particularidades del sistema de responsabilidad nuclear que reconocen. Así, por ejemplo, en materia de extensión de los daños reparables, e incluso en la noción de responsable, ese derecho recoge soluciones que se apartan del esquema de derecho continental. Con el examen de su derecho, se da cuenta de las dos principales tradiciones jurídicas en materia de derecho de la responsabilidad civil: aquella que proviene del derecho continental (Francia) y la que se desprende del *common law*.

- En contraposición al derecho francés, el sistema de Estados Unidos presenta

asimismo una estructura de propiedad fundada en el dominio privado de las plantas nucleares.

- Como se expuso, a pesar de ello es posible constatar reglas cercanas a las previstas en el derecho francés de la responsabilidad nuclear, cuestión que conduce a la importante conclusión de que es posible fundar y diseñar un solo estatuto de responsabilidad nuclear con independencia de quiénes sean los propietarios de las instalaciones.

- Asimismo, el sistema de los Estados Unidos presenta la particularidad de que ese país no es parte de ninguno de los grupos de tratados sobre la responsabilidad nuclear (París y Viena)[226]. A pesar de ello, es posible constatar que en muchos aspectos siguen los lineamientos de tales tratados, lo que conduce a la conclusión de que el régimen particular y uniforme de responsabilidad nuclear se impone más bien por la propia naturaleza de esa actividad riesgosa y por las exigencias de la cobertura de sus riesgos.

- Por último, como se mencionará en la sección de seguros y garantías, también el sistema de Estados Unidos representa un modelo distinto de relación entre la responsabilidad limitada nuclear y la garantía de su pago. En efecto, su sistema se estructura preferentemente sobre garantías privadas.

(iii) Finalmente, se escogió el derecho japonés, por las siguientes razones:

- Porque geográficamente las plantas están expuestas a riesgos naturales que podemos considerar similares a los nacionales.

- Porque Japón responde a un modelo totalmente distinto de responsabilidad en la medida que no aplica el principio de responsabilidad limitada en materia nuclear. En efecto, este país, así como Suiza, Alemania y Austria, han rechazado el principio de responsabilidad limitada previsto en los Tratados Internacionales, por considerarlo contrario a los intereses de las víctimas.

- Desde esta perspectiva, el derecho japonés presenta una protección mucho más amplia para las víctimas, cuestión que es posible identificar no sólo en la

[226] No obstante, es necesario hacer presente, como ya se mencionó en la sección (2.) de este informe, que paralelamente al Protocolo de enmienda del Convenio de Viena, algunos países, liderados por Estados Unidos impulsaron la elaboración y adopción de un Convenio que tuviera una vocación mundial en el sentido de poder ser adherido por países que todavía no eran parte a ningún instrumento internacional. El régimen de responsabilidad allí estipulado es sustancialmente el mismo que el del grupo de París y Viena. Tal Convenio se denomina "Convenio sobre Compensación Suplementaria, del 12 de septiembre de 1997".

inexistencia de límites, sino que también en la noción de los daños reparables.

- A pesar de establecer una responsabilidad ilimitada, el derecho japonés establece coberturas mínimas obligatorias. Este punto es interesante de examinar como modelo, pues si bien puede plantearse la interrogante de por qué es necesario limitar la responsabilidad (cuestión que genera críticas desde la perspectiva de la protección a las víctimas), vemos que si resulta indispensable fijar montos mínimos de cobertura que hagan viables las garantías.

- El caso japonés muestra que si bien es posible concebir un sistema de responsabilidad nuclear sin límites, debiendo indemnizarse todos los daños sufridos no importando su monto y naturaleza, parece en la práctica irrealizable un sistema de coberturas o garantías sin límites.

- Por otra parte, el derecho japonés presenta la particularidad de que no se encuentra sujeto a ningún Convenio Internacional en la materia. A pesar de ello, y de la misma forma como se expuso para el caso de Estados Unidos, la cercanía de su regulación con los principios internacionales, muestra que la necesidad de uniformidad en la materia bien impuesta por la naturaleza particular de esta actividad y las necesidades de cobertura.

- Finalmente, como se expondrá en la sección de seguros y garantías, el derecho japonés también presenta una doble particularidad en las relaciones entre responsabilidad y estas garantías, que lo convierte en un modelo específico. En este sistema los montos mínimos de cobertura se revisan necesariamente cada 10 años, y existe una amplia posibilidad de que los actores suscriban acuerdos con el Estado para garantizar las elevadas sumas mínimas de las garantías.

- Los tres países elegidos, en consecuencia, obedecen a tres distintos modelos de relaciones entre responsabilidad, seguros y garantías, y es posible sostener que el resto de los países con generación eléctrica nuclear prevén una regulación que se acerca a alguno de esos tres modelos con ciertos matices. De ahí que se justifique el tratamiento de esos tres sistemas en detalle. Por lo demás, no se ha detectado un modelo útil y lo suficiente pertinente para la realidad socioeconómica chilena (que influye, naturalmente, en el mercado de los seguros), que amerite un tratamiento particular.

3.2. Responsabilidad nuclear en Francia

Examinaremos en esta sección, la normativa vigente en Francia en materia de responsabilidad civil por daños nucleares, esto es: **(3.2.1.)**; Los conceptos de accidente nuclear **(3.2.2.)**; Daño nuclear **(3.2.3.);** El ámbito de esta responsabilidad **(3.2.4.);** Las exoneraciones que benefician al responsable **(3.2.5.)**; Los límites de los montos de indemnización **(3.2.6.);** y, La prescripción **(3.2.7.)**.

3.2.1. Normativa vigente

3.2.1.1. Normas internacionales

- Convenio de París acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, de 29 de julio de 1960
- Protocolo Adicional al Convenio de París del 28 de enero de 1964.
- Protocolo de Enmienda al Convenio de París del 16 de noviembre de 1982.
- Convenio Complementario al Convenio de París del 29 de julio de 1960 acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, firmado en Bruselas el 31 de enero de 1963.
- Protocolo de Enmienda al Convenio de Bruselas del 16 de noviembre de 1982
- Además, Francia es parte de dos otros Protocolos de Enmienda, pero no los ha ratificado a la fecha:
- Protocolo de Enmienda al Convenio de París del 12 de febrero del 2004[227]
- El Protocolo de Enmienda al Convenio de Bruselas del 12 de febrero del 2004[228]

3.2.1.2. Normas nacionales

- Ley n° 68-943 del 30 octubre 1968 relativa a la responsabilidad civil en el ámbito de le energía nuclear. Modificada por la Ley n° 90-488 del 16 de junio de 1990, y por la Ley n° 2006-686 del 13 de junio de 2006 (en adelante la Ley)

[227] Ratificado solo por Suiza en marzo de este año.
[228] Ratificado a la fecha por España y Suiza.

- Decreto n° 91-355 del 12 abril 1991

3.2.2. El concepto de accidente nuclear

La Ley n° 68-943 tiene múltiples referencias al texto mismo del CP que analizamos detenidamente en la segunda sección de esta primera parte, y es precisamente el caso para la definición de accidente nuclear.

Como ya señalamos, la definición de Accidente Nuclear del Convenio de París es amplia, ya que basta que un hecho haya causado daños nucleares para ser indemnizado. Esto incluye emisiones que pueden incluso ser autorizadas por la legislación vigente, pero que causaron daños nucleares[229].

3.2.3. El concepto de daño en materia nuclear

El artículo 3° de la Ley n° 68-943 del 30 octubre 1968, relativa a la responsabilidad civil en el ámbito de le energía nuclear, modificada por última vez por la Ley n° 2006-686, del 13 de junio de 2006, señala que se debe entender por daño lo definido el artículo 1° vii) del Convenio de París que ya hemos analizado.

Atendido lo anterior solo agregaremos algunos comentarios.

(i) Respecto del inciso 4 de esta definición[230], resulta particular que se establezca un daño al medio ambiente en general, ya que las personas afectadas por este daño tienen la posibilidad de demandar indemnización por el daño a los bienes materiales en su calidad de propietarios de los bienes, ya sean establecimientos públicos o personas privadas.

Desde nuestro punto de vista, este inciso 4 tiene sentido en cuanto el daño aquí indemnizado es el gasto que pudo haber significado a una persona privada o pública el restablecer el medio ambiente a su condición inicial en una propiedad suya. Este inciso precisa que se podrá demandar la indemnización de este daño siempre cuando no haya sido incluido en la indemnización por daño material.

---

[229] Dussart – Desart, Roland, "La Réforme de la Convention de París sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énérgie nucléaire et de la Convention complémentaire de Bruxelles – Un survol des principaux éléments de la modernisation des deux Conventions", *Bulletin de Droit Nucléaire n° 75* (2005) P.6

[230] *"El coste de las medidas de restauración del medio ambiente degradado, excepto si dicha degradación es insignificante, si tales medidas han sido efectivamente adoptadas o deban serlo y en tanto dicho coste no esté incluido en el apartado 2 anterior;"*

Vale decir, no sería posible demandar un daño por pérdida de valor de una propiedad y además una indemnización por los costos de restablecimiento del medio ambiente, en el evento que se hubiese restablecido el medio ambiente a su condición inicial, ya que en este caso el primer daño dejaría de existir.

Por medida de restauración se entiende: *"Medidas razonables, aprobadas por las autoridades competentes, que tengan por objeto restaurar o restablecer los elementos dañados del medio ambiente o, a reintroducir estos elementos al medioambiente. La legislación del Estado donde el daño se haya producido designará las autoridades competentes*".[231]

Por lo tanto, para revestir el carácter de daño indemnizable, las medidas de restauración deben ser razonables, y además haber sido autorizadas por las autoridades competentes.

El Convenio ha definido también lo que se estima por *"medida razonable"*[232]. Aquellas son:

> *"todas las medidas consideradas como apropiadas y proporcionadas por el tribunal competente teniendo en cuenta todas las circunstancias, como por ejemplo:*
> - *la naturaleza y la magnitud del daño nuclear sufrido o, en el caso de medidas de salvaguardia, la naturaleza y la magnitud de tal daño;*
> - *la probabilidad, al momento de ser tomadas, que esas medidas sean eficaces;*
> - *los conocimientos científicos y técnicos pertinentes."*

Este daño ha suscitado críticas en el ámbito de los asegurados. En efecto, se considera la regla general que el daño ambiental tiene el grave problema de no ser un daño previamente evaluable, atendido el largo tiempo en que puede perdurar[233], y las consecuencias inesperadas que éste puede generar. Por tanto, al no ser un daño evaluable de antemano, no es posible para los aseguradores fijar una prima y establecer una póliza. Estos daños son prácticamente inasegurables según la opinión de algunos[234].

El inciso 6° incluye en la definición de daño, el lucro cesante directamente relacionado con un uso o disfrute del medio ambiente que resulte de una degradación significativa del mismo, siempre que no esté incluido en el apartado 2 anterior.

---

[231] Artículo 1° a. viii) del Convenio de París .
[232] Artículo 1° a. x). del Convenio de París .
[233] El caso de Chernóbil es ilustrativo en la materia, las tierras aledañas a la central quedaron contaminadas e inutilizables por varias décadas.
[234] Tetley, Mark, "La révision des Conventions de París et de Vienne sur la responsabilité civile – le point de vue des assureurs", *Bulletin de Droit Nucléaire*, n° 75, p. 27.

La indemnización de este daño debiera evidentemente estar subordinada a la condición que el uso o disfrute del medioambiente degradado sea de naturaleza posible de generar un lucro cesante. Este tipo de daño lo pueden sufrir los operadores de la industria del turismo, por ejemplo.

(ii) En materia de daño corporal, el artículo 10° señala que se establecerá por decreto una lista de patologías para las que se presumirá haber sido causadas por el accidente nuclear, tomando en cuenta criterios como el grado de irradiación y el plazo en que hayan aparecido los síntomas[235].

(iii) La causalidad de los daños no está expresamente esclarecida en la legislación especial que estamos estudiando. La definición de los daños se remite a las disposiciones del Convenio de París, sin agregar nada nuevo.

3.2.4. Noción de responsable

La legislación francesa, en conformidad con el Convenio de París, establece la responsabilidad exclusiva y objetiva del explotador[236] en caso de accidente nuclear. Es una responsabilidad sin culpa, en cuanto sólo requiere la constatación del daño, del hecho que haya generado el daño y la relación de causalidad. En la medida en que la legislación francesa no aporta particular originalidad a este respecto, nos remitimos a lo ya expuesto anteriormente.

3.2.5. Las exoneraciones del explotador

Sobre esta materia, el régimen francés reenvía textualmente a las disposiciones del Convenio de París, por lo que remitimos en este punto a lo ya expuesto en la sección relativa al Convenio de París.

La Ley, en su artículo 13-1, establece la exoneración de responsabilidad del explotador – total o parcial - cuando el daño haya sido causado por la grave negligencia o culpa intencional de la víctima. La reducción de la indemnización es apreciada soberanamente por los jueces del fondo.

Las víctimas que estaban *"al servicio del explotador"*[237] al momento del accidente no están sometidas[238] al régimen especial de indemnización por daño nuclear. Se debe

[235] A nuestro conocimiento, a la fecha, tal decreto no existe.
[236] Artículo 1 a. vi) Se entiende ser explotador, todo aquel que haya sido designado o reconocido por la autoridad pública como explotador de esta instalación nuclear.
[237] Artículo 16 de la Ley.

aplicar con prioridad la legislación relativa a las enfermedades profesionales y accidentes del trabajo. En tanto, entendemos que los daños causados a las personas al servicio del explotador, están fuera del ámbito de su ámbito de responsabilidad.

3.2.6. Límites de los montos de indemnización

Los montos de indemnización son establecidos por el CP y por la Ley.

3.2.6.1. Para instalaciones nucleares regulares

La responsabilidad del explotador está limitada a la suma de 700 millones de Euros por evento.

3.2.6.2. Para instalaciones nucleares a riesgo reducido

La responsabilidad del explotador está limitada a 70 millones de Euros en los casos en que el accidente ocurra en sitios que cuentan sólo con instalaciones nucleares de riesgo reducido.

El Decreto n° 91-355 de 12 de abril de 1991 define las características de las instalaciones de riesgo reducido. Estas son:

- Los reactores nucleares de potencia térmica instalada inferior a 30 megawatts:

- Las instalaciones de preparación de fabricación o de transformación del uranio que trate menos de 100 toneladas por año de uranio enriquecido a menos de 10% en uranio 235.

- Las instalaciones destinadas al mantenimiento o a la descontaminación de materiales nucleares y donde la actividad total no supere veinte veces los mínimos autorizados.

En este orden de ideas, como ya hemos señalado, el régimen de responsabilidad del Convenio de París es aplicable a los países Contratantes y a los países No Contratantes que cuenten con garantías similares. En caso en que las garantías no sean similares, el límite de la indemnización para el explotador es de 70 millones de Euros.

---

[238] En la materia entendemos debieran aplicarse las reglas generales del derecho del trabajo francés. Básicamente será considerado trabajador aquel que trabaje de manera regular bajo dirección y control.

Para los transportadores de sustancias nucleares, el artículo 9° de la Ley señala que por regla general, el explotador es responsable de las sustancias nucleares transportadas a concurrencia máxima de 80 millones de euros por accidente. Si las sustancias se encontraran bajo responsabilidad del explotador instalado en el territorio de la República Francesa y las sustancias transitan entre Francia y un país no parte del Convenio de Brusela, el explotador es responsable, en conformidad a la Ley, de los accidentes ocurridos en el territorio nacional. Si los accidentes ocurrieren fuera del territorio nacional, se aplicará la ley en vigor en ese país.

Para las sustancias en tránsito en el territorio francés – sin mención del origen de las sustancias – el transportador debe acreditar la existencia de un seguro o garantía equivalente a 80 millones de euros en caso en que se trate de un transporte cubierto por el Convenio de París, y 1.2 millones de euros en caso que así no lo fuere.[239]

3.2.7. Prescripción

El artículo 15 de la Ley señala que las acciones de indemnización prescriben en tres años a contar de:

- El momento en que la víctima tomó conocimiento del daño
- El momento en que la víctima debió haber razonablemente tomado conocimiento del daño.

En todo caso, ninguna acción podrá ser interpuesta después de los plazos de prescripción dispuestos en el artículo 8° del Convenio[240].

3.3. La responsabilidad nuclear en Estados Unidos

Estados Unidos es la mayor potencia mundial con 104 reactores nucleares repartidos en 65 emplazamientos, que generan aproximadamente 20% del total de electricidad producida en el país.

Hasta el año 1954 Estados Unidos tenía un sistema de producción estatal monopólica. A partir de esa fecha, la *Price Anderson Act* – comprendida dentro del *Atomic Energy Act,* secciones 170 y siguientes - inició una transición a un régimen en el que el sector privado tiene un rol activo en la industria nuclear civil. En cuanto a la explotación de

[239] El artículo 9-3 de la ley señala que el transportador deberá contar con un certificado emitido por su asegurador o institución que le presta garantía, que estipule el monto, el tipo y la duración de la garantía, así como las sustancias y el itinerario cubierto por ella.
[240] En caso de daño o muerte de personas, 30 años a contar de la fecha del accidente, en caso de otros daños nucleares, 10 años a contar del accidente.

centrales nucleares a contar del año 1974, la entidad estatal, la *Nuclear Regulatory Comision* (NCR) gestiona la actividad nuclear norteamericana, y es el organismo responsable del otorgamiento de las licencias.

De un punto de vista legislativo, la *Atomic Energy Act* es una base legislativa federal que se aplica a todos los Estados. No obstante, cada Estado puede adoptar una legislación propia, si ésta fuere más estricta que la ley federal, o si ésta no le contraviniera.

Examinaremos en esta sección, la normativa vigente en Estados Unidos en materia de responsabilidad civil por daños nucleares **(3.3.1.)**, el concepto de incidente nuclear **(3.3.2.)**, la noción de daño nuclear **(3.3.3.),** la noción de responsable **(3.3.4.)**, los límites de responsabilidad y las exoneraciones **(3.3.5.**), y la prescripción **(3.3.6.).**

3.3.1. Normas vigentes

(i) Normativa Internacional

- Convenio sobre Compensación Suplementaria, del 12 de septiembre de 1997

(ii) Normativa Nacional

- Price Anderson Act de 1957.

3.3.2. El concepto de incidente nuclear

La Price Anderson Act define como incidente nuclear, *"todo evento, inclusive un evento nuclear extraordinario, dentro o fuera de los Estados Unidos, daños corporales, enfermedad o muerte, o pérdida o daño a la propiedad, o pérdida de uso de una propiedad, causado por o resultado de las propiedades radioactivas, tóxicas, explosivas o de cualquier otra propiedad eventual de materiales nucleares especiales o subproducto nuclear."*[241]

El concepto de evento nuclear extraordinario fue introducido por enmienda en 1966 con el fin de poner término a ciertas defensas que subsistían en los regímenes de responsabilidad de diferentes Estados.

[241] Section 11 Atomic Energy Act: *"The term "nuclear incident" means any occurrence, including an extraordinary nuclear occurrence, 13 within the United States causing, within or outside the United States, bodily injury, sickness, disease, or death, or loss of or damage to property, or loss of use of property, arising out of or resulting from the radioactive, toxic, explosive, or other hazardous properties of source, special nuclear, or byproduct material."*

3.3.3. La noción de responsable

Contrariamente al régimen de los Convenios de París y Viena, y al régimen japonés que examinaremos más adelante, el régimen de responsabilidad norteamericano no establece una responsabilidad jurídica exclusiva del explotador en materia de daños nucleares. La Price Anderson Act se refiere a la responsabilidad en general – *public liability*[242] – sin atribuírsela a alguien en particular. Cada Estado determina la responsabilidad civil de los actores intervinientes de acuerdo a su ley estatal.

No obstante lo anterior, el costo económico de los daños nucleares son íntegramente soportados por el explotador.

3.3.4. La noción de daño nuclear

La noción de daño está tratada – tal como lo hacía el Convenio de París antes de la enmienda del 2004 – en la definición de incidente nuclear. En esta definición, como se señaló anteriormente, se califican como daños nucleares los "*daños corporales, enfermedad o muerte, o pérdida o daño a la propiedad, o pérdida de uso de una propiedad, causado por o resultado de las propiedades radioactivas, tóxicas, explosivas o de cualquier otra propiedad eventual de materiales nucleares especiales o subproducto nuclear."*

Como podemos observar, la definición es mucho más amplia que la establecida por los Convenios enmendados.

3.3.5. Las exoneraciones

Existen exoneraciones similares a los otros regímenes de responsabilidad, sin perjuicio de lo cual no están excluidas de la responsabilidad pública:

- Los daños causados a los trabajadores de la central.
- Los daños causados a las instalaciones del sitio nuclear.

[242] Section 11 w. Atomic Energy Act: *"The term "public liability" means any legal liability arising out of or resulting from a nuclear incident or precautionary evacuation (including all reasonable additional costs incurred by a State, or political subdivision of a State, in the course of responding to a nuclear incident or precautionary evacuation) except: (i) claims under State or Federal workmen's compensation acts of employees or persons indemnified who are employed at the site of and in connection with the activity where the nuclear incident occurs; (ii) claims arising out of an act of war; and (iii) whenever used in subsections a., c., and k., of section 170, claims for loss of, or damage to property which is located at the site of and used in connection with licensed activity where the nuclear incident occurs. "Public liability; also includes damage to property of persons indemnified: Provided, That such property is covered under the terms of the financial protection required, except property which is located at the site of and used in connection with the activity where the nuclear incident occurs."*

- Los daños causados por actos de guerra.

No parecen estar excluidos los daños provocados por desastres naturales o intervención culposa de la víctima.

3.3.6 Límites de responsabilidad

El límite de responsabilidad no es un tema tratado por la Price Anderson Act de la misma manera que en el régimen de responsabilidad de los Convenios de París y Viena.

Este límite se puede apreciar indirectamente a través de la obligación de los operadores con licencia a asegurarse por ciertos montos determinados, como lo veremos en la segunda parte de esta presentación. Examinaremos más detalladamente este punto en la sección correspondiente a los seguros y garantías estatales.

3.3.7. La prescripción

El plazo establecido por la Ley Price-Anderson para interponer la demanda respectiva es de tres años contados desde que el demandante tomó conocimiento, o debió tomar conocimiento, de los daños y sus causas.

3.4. La responsabilidad nuclear en Japón

Japón cuenta con una industria nuclear de carácter mixto, en el que compañías privadas pueden ser operarias y explotadoras de centrales nucleares con la condición de haber obtenido una licencia para poder desarrollar esa actividad, en conformidad a la Ley de Base de Energía Atómica. Existen actualmente 55 reactores nucleares operados por 10 compañías privadas.

Japón es dependiente del exterior para la obtención de la materia prima al combustible nuclear. Esta es una de las razones por las que tiene un ciclo de combustible cerrado, reciclando la mayor cantidad de combustible irradiado, convirtiéndolo en MOX para poder ser reutilizado en las plantas. En consecuencia, no se almacenan de manera definitiva los combustibles irradiados. No obstante, se está creando un organismo administrativo[243] para la gestión del almacenamiento de los combustibles irradiados y otros desechos nucleares como solución definitiva, y desarrollando el proyecto de uno o varios sitios de almacenamiento definitivo.

[243] Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO).

Examinaremos en esta sección, la normativa vigente en Japón en materia de responsabilidad civil por daños nucleares **(3.4.1.),** el concepto de accidente nuclear **(3.4.2.),** de daño nuclear **(3.4.3.),** la noción de responsable **(3.4.4.),** las exoneraciones que benefician al responsable **(3.4.5.)** y los límites de los montos de indemnización **(3.4.6.)** y, la prescripción **(3.4.7).**

3.4.1. Normativa vigente

(i) Normas internacionales

- Japón no es Parte ni del Convenio de París ni de la Convención de Viena.

(ii) Normas nacionales

- Ley n° 147 de Compensación por Daño Nuclear del 17 de junio de 1961 (en adelante Ley de Compensación).

Esta Ley tiene, desde su promulgación, una vigencia limitada. Debe ser enmendada cada diez años. Su última modificación fue adoptada el 13 de abril del 2009, publicada el 18 de abril del mismo año, y entrará en vigor el 1° de enero del 2010. Esta última enmienda ha aportado significantes cambios, en particular en los montos de seguros obligatorios.

- Reglamento n° 44 que implementa la Ley de Compensación por Daño Nuclear del 6 de marzo 1962.

- Ley n° 148 sobre Acuerdos de Indemnización por Compensación por Daño Nuclear del 17 de junio de 1962.

- Reglamento n° 45 que implementa la Ley sobre Acuerdos de Indemnización por Compensación por Daño Nuclear del 6 de marzo 1962.

3.4.2. El concepto de accidente nuclear

No es un concepto utilizado en la legislación japonesa, sólo se refiere a la definición y ocurrencia de un daño sin referirse a lo que podría ser un accidente.

3.4.3. El concepto de daño en materia nuclear

El artículo 2.2[244] del la Ley de Compensación señala que debe entenderse como daño nuclear, todo daño causado por:

- El proceso de fisión de material combustible nuclear,
- Los efectos de radiación la por material combustible nuclear o material contaminado por material combustible nuclear, y
- La naturaleza tóxica de dichos materiales (patologías del cuerpo humano causadas por la ingesta o inhalación).

Como podemos observar, el concepto de daño en la legislación es mucho más amplio que en el régimen de responsabilidad establecido por la comunidad CP/CV. En efecto, al no hacer una enumeración de los posibles daños indemnizados, entran en la definición todo tipo de daño, atendido solamente su origen.

3.4.4. La noción de responsable

Al igual que las otras legislaciones que hemos examinado en esta sección, Japón establece una responsabilidad objetiva basada exclusivamente en la comprobación de la existencia de un daño producido por una central nuclear[245]. Esta responsabilidad recae de manera exclusiva en el operador de central nuclear[246]. Se entiende como explotador de la central nuclear toda persona que ha obtenido una licencia para ello

[244] *"For the purpose of this Law, "nuclear damage" means any damage caused by the effects of the fission process of nuclear fuel material, by the effects of radiation from nuclear fuel material or material contaminated by nuclear fuel material (in paragraph 2 of Article 3 referred to as the "nuclear fuel material, etc. "), the toxic nature of such materials (which means the effects that cause intoxication or deuteropathy for the human body by ingestion or inhalation of such materials); provided that the damage suffered by a nuclear operator within the meaning of Article 3 and the damage suffered by his employees in the course of performing their professional duty are excluded."*

[245] Artículo 3°: *"1. When nuclear damage has occurred owing to or during the operation of a reactor, etc., the nuclear operator who is engaged in the operation of the reactor, etc. on that occasion shall be liable for the damage, except for the case where the damage is caused by an extraordinarily grave natural disaster or by a serious social disturbance. 2. When nuclear damage is covered by the preceding paragraph and if the damage is caused as a result of the transportation of nuclear fuel material. etc. from one nuclear operator to another, the nuclear operator who is the consignor of the nuclear fuel material, etc. shall be liable for the damage, unless there is a special agreement between the nuclear operator."*

[246] Artículo 4.1: *"In the case where nuclear damage is covered by Article 3, no person other than the nuclear operator who is liable for the nuclear damage in accordance with Article 3 shall be liable for this nuclear damage."*

en las condiciones previstas en las disposiciones de la *Atomic Energy Basic Law* (Ley de Base de Energía Atómica).

Esta responsabilidad cubre los daños producidos en sus instalaciones y los daños producidos por materiales nucleares que se encuentren en tránsito pero que siguen bajo su custodia.

Es un régimen similar al que ya hemos visto anteriormente.

3.4.5. Las exoneraciones del explotador

(i) Las exoneraciones relativas a la naturaleza del daño:

- No son considerados como daños nucleares los daños sufridos por el propio operador, ni tampoco el daño sufrido por sus empleados en el desempeño de sus funciones[247], por lo que quedan excluidos del ámbito de aplicación del régimen de responsabilidad descrito.

(ii) Exclusiones relativas al origen del daño:

- Su responsabilidad está también excluida en caso de disturbios sociales.
- La legislación japonesa excluye toda reducción de exoneración de responsabilidad en caso de culpa de la víctima, y en caso de intervención maliciosa de terceros. En esta última figura, el operador solo tiene el derecho a demandar a su vez al responsable del daño, una vez indemnizadas las víctimas[248].

3.4.6. Límites de responsabilidad

En rigor, la responsabilidad del explotador es ilimitada en Japón, lo que es una excepción notable en la comunidad internacional. Éste responde, en teoría, del monto total de los daños nucleares que pudieran producirse. No obstante, la Ley de Compensación ha establecido un valor mínimo en que el operador debe obligatoriamente suscribir un contrato de seguro por responsabilidad o entregar una garantía de otra naturaleza.

[247] Artículo 2.2 de la Ley de Compensación.
[248] Artículo 5.1 de la Ley de Compensación: *"In the case where nuclear damage is covered by Article 3 and if the damage is caused by a willful act of a third party, the nuclear operator who has paid compensation for nuclear damage in accordance with Article 3, retains a right of recourse against such a third party."*

3.4.7. La prescripción

El plazo de prescripción para ejercer la acción, se entrega al derecho común, estableciendo el plazo máximo para interponer la demanda de 3 años contados desde que la victima haya tomado conocimiento tanto de los daños sufridos como de la identidad de la persona responsable por tales daños. Igualmente la normativa general, establece que el derecho a indemnización prescribe completamente en el plazo de 20 años desde la fecha en que se genere la responsabilidad.[249]

4. Legislación chilena en materia de responsabilidad civil nuclear

Para efectos metodológicos, y dada también la relativa cercanía del estatuto nacional de responsabilidad nuclear con los instrumentos internacionales descritos y los sistemas comparados analizados en las segundas y terceras secciones de este informe, este estudio se dividirá en las mismas secciones que fueron definidas paras esas unidades temáticas, de tal forma de facilitar la comparación.

Así, la exposición revisará:

4.1. Normativa vigente
4.2. El concepto de accidente nuclear
4.3. El concepto de daño en materia nuclear
4.4. La noción de responsable
4.5. Las exoneraciones del explotador
4.6. Límites de responsabilidad
4.7. Prescripción

4.1. Normativa vigente

La legislación chilena en materia de responsabilidad nuclear, actualmente vigente, puede clasificarse en el derecho especial y el derecho de aplicación supletoria.

(i) En cuanto al derecho especial vigente, varias fuentes se refieren a aspectos de la responsabilidad nuclear:

a) La *Convención de Viena acerca de la responsabilidad civil en materia de daños nucleares* (1963), promulgada en Chile por Decreto N°18 del Ministerio de Relaciones

[249] Código Civil Japonés, Sección 724.

Exteriores, publicado en el Diario Oficial el 8 de marzo de 1990.

Este Tratado, así como los restantes aprobados por Chile, se entienden incorporados al derecho interno – como es el caso- una vez firmado por el Presidente de la República, aprobado por el Congreso Nacional, ratificado por el Jefe de Estado y promulgado y publicado en el Diario Oficial (art. 32 N°15 y 54 N°1 de la Constitución Política).

No obstante, debe tenerse en cuenta que la versión de la Convención de Viena adoptada por la legislación corresponde a aquella anterior a la enmienda de 1997, cuestión que tiene consecuencias en el régimen de responsabilidad que emana del mismo.

En efecto, el *Protocolo de enmienda de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares*, de 29 de septiembre de 1997, entró en vigor el 4 de octubre 2003 y cuenta con sólo 5 ratificaciones de Estados[250], entre los cuales no se encuentra Chile. Como se mencionó en la sección (2.) de este capítulo, los cambios introducidos por este instrumento son de dos órdenes. Por una parte, atañen a los montos mínimos de responsabilidad de los explotadores que son sensiblemente más altos. Por otra parte, la enmienda precisó y desarrolló definiciones de conceptos cruciales para el régimen de responsabilidad civil nuclear, como daño y accidente nuclear.

b) El *Protocolo Común acerca de la Aplicación del Convenio de París y de la Convención de Viena* (1988), promulgado en Chile por Decreto N°1.212 del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado en el Diario Oficial el 3 de enero de 1994.

Ambas Convenciones, como se revisó en la sección (2.) de este informe, se refieren directamente a diversos aspectos del régimen de responsabilidad civil nuclear, y son parte del derecho nacional vigente.

c) Otros dos instrumentos internaciones tienen incidencia indirecta en la noción de accidente nuclear y en diversos aspectos vinculados a la notificación de su ocurrencia y a las medidas de asistencia para controlar la expansión de los daños que puede provocar. En tal sentido, pueden entenderse vinculados a las medidas de mitigación de la expansión de los daños nucleares y, por tanto, según lo expuesto en la materia en la sección (2.) de este capítulo, relacionados indirectamente con la responsabilidad civil nuclear.

El primero de estos instrumentos, es la *Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares* (1986), promulgada por Decreto N°381 del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado en el Diario Oficial el 25 de abril de 2006.

La segunda de estas Convenciones, es la *Convención sobre asistencia en caso de accidente*

[250] Argentina, Bielorrusia, Latvia, Marruecos y Rumania.

nuclear o emergencia radiológica (1986), promulgado por Decreto N°8 del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado en el Diario Oficial el 12 de abril de 2005.

d) La ley Nº 18.302 de 1984, sobre Seguridad Nuclear (Ley de Seguridad Nuclear), que establece un régimen de responsabilidad estricta (objetiva), limitada y sujeta a coberturas de garantías obligatorias (arts. 49 y s.).

Esta legislación fue objeto de modificaciones de fondo por la Ley N°19.825 de 2002, con el propósito de responsabilizar a los transportistas de sustancias nucleares dentro de las fronteras nacionales[251].

e) En aquello que resulta aplicable, también debemos entender como legislación especial la Ley de Bases del Medio Ambiente (Ley n°19.300). Esta ley confirma el régimen general de responsabilidad civil por negligencia (art. 51), aunque establece algunas hipótesis de culpa infraccional cuando se vulneran las reglamentaciones y planes ambientales (art. 52), y una acción de *restitución en naturaleza* del daño ambiental, sujeta a un estatuto de responsabilidad estricta (art. 53).

Como ya se ha mencionado, la legislación especial del medio ambiente plantea la interrogante de qué estatuto debe aplicarse en caso de producción de tales daños por un accidente nuclear. La particularidad del estatuto nuclear, así como las ventajas que significa para las víctimas y el medio ambiente la cobertura obligatoria, y el peso económico que ello envuelve para el explotador, justifican que el estatuto de responsabilidad civil nuclear se aplique de manera preferente en caso de daño nuclear al medio ambiente.

(ii) En lo que respecta al derecho común de aplicación supletoria, la regulación civil común cumple tal función supletoria en materia de responsabilidad nuclear, según prescribe el artículo 4° del Código Civil[252]. Esa regulación se encuentra contenida en los artículos 2314 y siguientes del Código Civil, que norman la responsabilidad civil extracontractual.

Por lo demás, en la propia normativa internacional, en este caso en la Convención de Viena de la que Chile es parte, se contiene una directa remisión y atribución de competencia sobre las cuestiones de fondo al derecho civil interno, en particular en

[251] Cabe hacer presente que el *Proyecto de ley sobre energía nuclear*, presentado por el senador Jaime Orpis el 10 de julio de 2008, contempla disposiciones sobre la responsabilidad civil nuclear (arts. 27-33), que toman en esencia las reglas de la Ley de Seguridad Nuclear. Sin embargo, este proyecto no ha avanzado en su tramitación parlamentaria desde su presentación.

[252] Sobre esta aplicación supletoria del estatuto común de responsabilidad a los estatutos especiales y, en particular, al estatuto de la responsabilidad civil nuclear, ver: Tapia Mauricio "Algunos regímenes especiales de responsabilidad civil", *in*, *Código Civil. 1855-2005. Evolución y perspectivas*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2005, p. 308 y s.

materia de naturaleza y alcance de la indemnización de los daños, al disponer que: "*Sin perjuicio de lo dispuesto en la presente Convención, la naturaleza, forma e importancia de la indemnización, así como la distribución equitativa de la misma, se regirán por la legislación del tribunal competente*" (art. VIII).

Como ya se adelantó, estas reglas del derecho civil común son escasas y han sido completadas por el trabajo de la jurisprudencia, que debe necesariamente analizarse para entender el alcance del derecho de daños en la actualidad en Chile.

Así, por ejemplo, tal como se expondrá, ciertas condiciones de la responsabilidad como la noción de daño moral, que no son abordadas por la legislación especial, deberían interpretarse a la luz de las disposiciones e instituciones del derecho civil común, previstas por el Código Civil, y complementadas por la jurisprudencia.

Sin embargo, se hace presente que una cuestión es sostener que esas reglas del Código Civil tienen una aplicación supletoria para interpretar las condiciones y efectos de la responsabilidad civil nuclear (como por ejemplo la noción de daño), y otra muy distinta es afirmar que las víctimas pueden usar el estatuto de responsabilidad por culpa del Código Civil para demandar los daños que excedan los límites fijados por ese estatuto especial de la responsabilidad nuclear. Tal cuestión se presenta como una alternativa para el país al momento de incorporar la regulación de la energía nuclear de potencia, cuyas ventajas y desventajas son analizadas más adelante en este informe (a propósito de los vacíos y contradicciones en esta sección).

En lo sucesivo la legislación Civil de aplicación supletoria (arts. 2314 y s. del Código Civil) será referida como "derecho civil supletorio".

Para efectos de orden, la legislación especial y la legislación común se revisan de la siguiente forma:

- El Convenio de Viena y el Protocolo Común, mencionados en las letras a) y b) del número (i) anterior, se examinaron en sección (2.) de este trabajo, relativa a Tratados Internacionales en materia de responsabilidad civil nuclear. Sin embargo, al revisar en el capítulo 3 los vacíos y contradicciones, se efectuarán nuevas referencias a esos instrumentos con el doble propósito de, por una parte, hacer presente sus simetrías y asimetrías con el derecho interno y, por otra parte, poner en evidencia las diferencias entre los instrumentos actualmente vigentes en el derecho internacional y aquellos ratificados por Chile en el pasado.

- Las Convenciones sobre notificación y asistencia en caso de accidentes nucleares, mencionadas en la letra c) del número (i) anterior, serán tratadas más

adelante a propósito de los vacíos y contradicciones detectados en materia de noción de "accidente nuclear".

- La Ley de Seguridad Nuclear, mencionada en la letra d) del número (i) anterior, en aquello relativo a la responsabilidad civil nuclear, será examinada en detalle en los párrafos siguientes.

- La Ley de Medio Ambiente, mencionada en la letra e) del número (i), en aquello relativo a la responsabilidad ambiental en sus relaciones con la responsabilidad civil nuclear, es abordada en los párrafos siguientes para cada una de las materias para las que es pertinente.

- Asimismo, el derecho común aplicable a la materia, mencionado en el número (ii) anterior, contenido en las reglas de la responsabilidad civil extracontractual del Código Civil y la jurisprudencia sobre el particular, serán analizados en los párrafos siguientes, en aquello que resulte aplicable a las condiciones y efectos de la responsabilidad civil nuclear.

4.2. El concepto de accidente nuclear

Como se expondrá al examinar el ámbito de la responsabilidad, al tratarse de una responsabilidad estricta u objetiva, la responsabilidad civil nuclear exige sólo la comprobación de un daño, vinculado en relación de causalidad con el hecho generador; este hecho generador es el *accidente nuclear*.

Por esto, la noción de accidente nuclear corresponde al hecho generador de la responsabilidad civil nuclear (acción u omisión), que es atribuible al explotador, y que desencadena los efectos (daños nucleares) que originarán el derecho a reparación de las víctimas.

Ahora bien, la Ley de Seguridad Nuclear define el accidente nuclear como "*cualquier hecho o sucesión de hechos que, teniendo un mismo origen, hayan causado daños nucleares*" (art. 3° N°13).

La definición es amplia y hace referencia, en consecuencia, a cualquier hecho (acción u omisión), que desencadene daños nucleares.

Al exigir, por su parte, que cuando se trate de más de un hecho se encuentren vinculados entre sí ("teniendo un mismo origen"), la disposición alude al vínculo de causalidad que debe existir entre ellos, cuestión que es consistente con los principios generales del derecho común en la materia (sólo los daños que puedan reconducirse causalmente al hecho imputable al agente pueden ser objeto de reparación). En definitiva, el daño debe

poder reconducirse a un mismo hecho que ha desencadenado los perjuicios nucleares.

En términos generales, el concepto de accidente nuclear responde a la noción contenida en el Convenio de París y en la Convención de Viena, en sus redacciones finales. Respecto de este último instrumento (en su redacción después de la enmienda), hacemos remisión a la sección (2.) de este informe, donde señalamos que éste además incorpora a la noción de accidente nuclear a las "medidas preventivas", en sentido de que también considera accidente nuclear todo hecho o sucesión de hechos que tengan un mismo origen y que, sólo en lo que concierne a las medidas preventivas, cree una amenaza grave o inminente de daño nuclear.

Tales "medidas preventivas" pueden ser interpretadas de dos formas distintas. Por una parte, puede interpretarse, como se hizo en la mencionada sección (2.), al tratar la Convención de Viena enmendada, de que se trata del costo de las medidas de prevención de expansión o de mitigación de un daño nuclear ya provocado y en desarrollo. Por otra parte, y en complemento de lo expuesto preliminarmente en la sección (2.), también puede interpretarse que esta nueva frase agregada a la noción de accidente nuclear debe entenderse en consonancia con la nueva definición de daño aportada por la misma enmienda a esa Convención, y en tal sentido considerar que es un accidente nuclear y que amerita reparación, el costo de las medidas preventivas, antes de la generación de un daño, cuando ellas se justifican por la amenaza grave e inminente de producción de un perjuicio de esa naturaleza. El daño a reparar, en este último caso, se reduce al costo de las medidas de prevención, si gracias a ellas no se generaron otros perjuicios nucleares, o el costo de aquellas y de los otros perjuicios provocados, en caso contrario.

Asimismo, hacemos presente que en la sección relativa a los Convenios Internacionales, se aclaró que la noción de "accidente" es equivalente a la noción de "incidente", y no hay ninguna diferencia en su tratamiento en las Convenciones Internacionales, por las razones ahí expuestas[253].

La Ley de Seguridad Nuclear, tal como esos instrumentos internacionales, no agrega ningún otro calificativo al accidente nuclear. En particular, no se exige que ese hecho sea cometido con culpa o dolo (de ahí que sea una responsabilidad objetiva).

Toda otra calificación se encuentra en verdad en la noción de daño nuclear, que se expone en el título siguiente.

Finalmente, se hace presente que ni la legislación ni la reglamentación nacional recogen una escala o calificación de los accidentes nucleares, cuestión que parece pertinente

[253] No obstante, ya veremos que la noción de "accidente" e "incidente" es utilizada en escalas internacionales de eventos nucleares, que tienen el carácter de no vinculantes, y que no tienen efectos directos en materia de responsabilidad civil nuclear.

sobre todo teniendo en consideración que Chile ha adherido a dos Convenios sobre pronta notificación y asistencia en materia de accidentes nucleares. Tal cuestión, definida como un aspecto crítico, es abordada en este informe como un vacío o contradicción que, desde ya se adelanta, puede ser resuelto con una simple referencia legal o reglamentaria a la Escala Internacional de Eventos Nucleares.

Nuevamente se reitera sobre el particular que, cualquier escala de accidentes nucleares no tiene en principio incidencia en la extensión de la responsabilidad civil nuclear, sino que sólo es pertinente para los efectos de permitir la comunicación de la información importante de seguridad en caso de accidentes, y facilitar el conocimiento de los medios de comunicación y la población de su magnitud. En tal sentido, sólo puede tener un impacto en la adopción de medidas paliativas que impidan la expansión y multiplicación de los daños. Por ejemplo, disponiendo una rápida evacuación de poblaciones aledañas.

4.3. El concepto de daño en materia nuclear

El daño es una condición común a todas las responsabilidad civiles (por culpa y estrictas) y constituye al mismo tiempo el objeto del juicio de responsabilidad.

La producción de un daño es uno de los fundamentos y al mismo tiempo es la medida de la reparación. Por esto, la determinación de la noción y de la extensión del daño reparable es una decisión que cada sistema jurídico adopta según las costumbres sociales y el grado de desarrollo económico.

El daño relevante para el derecho no siempre coincide exactamente con la totalidad de las molestias y perjuicios sufridos por la víctima como consecuencia del acto ilícito, y así las molestias *insignificantes* no son objeto de reparación. Es por esto que las Convenciones Internacionales excluyen de la reparación las degradaciones insignificantes al medio ambiente, como se explicó en la sección (2.) de este capítulo. Asimismo, la legislación nacional en materia ambiental lo incluyó como requisito para la reparación del daño ambiental[254].

Pasado ese umbral de significancia, los requisitos del daño reparable en la legislación común son bastante laxos, lo que ha conducido a una progresiva, aunque no muy sistemática, expansión del daño reparable en el derecho nacional[255].

[254] Ley n°19.300, *Sobre Bases Generales del Medio Ambiente* (art. 2° letra e y 11 letra e).
[255] Entre los numerosos estudios sobre el daño reparable en el derecho civil común en Chile se destacan los siguientes: Diez José Luis, *El daño extracontractual. Jurisprudencia y doctrina*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 1997; Domínguez Ramón, "Consideraciones en torno a la noción de daño en la responsabilidad civil. Una visión comparatista", *Revista de Derecho de la Universidad de Concepción*, n° 188, 1990, p. 125; Domínguez Carmen, *El daño moral*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2000; y, Jana Andrés y Peña Carlos, *Reparación del daño extracontractual, Edición, jurisprudencia y doctrina*, texto

Así, siguiendo a la jurisprudencia francesa, en el régimen supletorio del Código Civil, la jurisprudencia nacional considera que constituye un daño toda lesión a un interés legítimo de la víctima, ya sea de naturaleza patrimonial o extrapatrimonial (y no solamente a sus derechos subjetivos)[256]. De esta forma, para que sea susceptible de repararse (o compensarse) mediante la indemnización de perjuicios, el interés lesionado debe ser *legítimo* (no atentar contra el orden público) y *relevante* (que atiende al grado de significancia ya descrito). Asimismo, es necesario que el perjuicio provocado a estos intereses sea *directo* (que es un requisito vinculado a la *relación de causalidad*), *cierto* (no meramente hipotético) y afectar *personalmente* a la víctima (no se pueden demandar daños que han sufrido terceros y no la propia víctima demandante).

Más allá, las definiciones del daño reparable del derecho civil supletorio son lacónicas e insuficientes (sólo se refieren al daño patrimonial), y es necesario recurrir a las reglas deducidas por la jurisprudencia, como se expone más adelante.

Por su parte, la legislación especial vigente en materia de responsabilidad civil nuclear, contenida en la Ley de Seguridad Nuclear, define al daño nuclear de la siguiente forma (art. 3° N°14): "*La pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales, somáticas, genéticas y síquicas que afecten a las personas, y los daños y perjuicios que se produzcan en los bienes como resultado directo o indirecto de las propiedades radiactivas o de la combinación de éstas con las propiedades tóxicas, explosivas u otras propiedades peligrosas de los combustibles nucleares o de los productos o desechos radiactivos que se encuentren en una instalación o de las sustancias nucleares que procedan o se originen en ella o se envíen a ella. La pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales, somáticas, genéticas y síquicas que afecten a las personas, y los daños y perjuicios que se produzcan como resultado directo o indirecto de radiaciones ionizantes que emanen de cualquier otra fuente de radiaciones que se encuentren dentro de una instalación nuclear".*

Una primera aproximación lleva a concluir que la noción de daños nucleares recién descrita de la Ley de Seguridad Nuclear responde en principio a las condiciones previstas en nuestro derecho vigente para el daño reparable en el derecho civil supletorio.

Sin embargo, la definición de daño nuclear de la Ley de Seguridad Nuclear es ambigua y no se ajusta a la prevista en las Convenciones Internacionales. Para comprender su alcance, es necesario analizar: **(4.3.1.)** El concepto de sustancia radioactiva; **(4.3.2.)** Los tipos de daños que se declaran reparables; y, **(4.3.3.)** La noción de daños directos e

---

preparado con la participación de los ayudantes Claudio Gutiérrez y Francisca Román, Santiago, Universidad de Chile, 2002.

[256] V. por ejemplo, Corte de Apelaciones de Santiago, 3 de junio de 1973, RDJ, T. LXX, 1973, sec. 4ª, p. 65.

indirectos.

4.3.1. Concepto de sustancia radiactiva

La Ley de Seguridad Nuclear exige que los daños nucleares sean provocados por las propiedades radioactivas de los *combustibles nucleares*, de los *productos (o sustancias) radiactivos* y los *desechos radioactivos*.

Asimismo, para ser considerados "daños nucleares", los perjuicios pueden provenir de *radiaciones ionizantes,* que emanen de cualquier otra fuente de radiación de la instalación.

Estos conceptos son definidos en la Ley de Seguridad Nuclear, y en tal sentido deben entenderse para los efectos de definir si un perjuicio tiene el carácter de nuclear. Las definiciones que recoge la Ley de Seguridad Nuclear son las siguientes:

(i) "*Combustible Nuclear*: material compuesto de elementos que pueden producir energía mediante un proceso automantenido de fisión o fusión nuclear" (art. 3° N°5).

(ii) "*Material Radiactivo*: cualquier material que tenga una actividad específica mayor de 2 milésimas de microcurio por gramo" (art. 3° N°4).

(iii) "*Sustancia Nuclear*: a) Los combustibles nucleares, salvo el uranio natural y el uranio empobrecido, que por sí solos o en combinación con otras sustancias, puedan producir energía, mediante un proceso automantenido de fisión nuclear, fuera de un reactor nuclear. b) Los productos radiactivos. c) Los subproductos y desechos radiactivos" (art. 3° N°7).

(iv) "*Desechos Radiactivos*: cualquier material radiactivo obtenido durante el proceso de producción o utilización de combustibles nucleares, o cuya radiactividad se haya originado por la exposición a las radiaciones inherentes a dicho proceso, y los radioisótopos que habiendo alcanzado la etapa final de su elaboración y pudiendo ser ya utilizados con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales, sean desechados" (art. 3° N°6).

(v) "*Radiaciones Ionizantes*: la propagación de energía de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia produce ionización" (art. 3° N°3).

En definitiva, estas nociones son útiles tanto para definir la existencia de un daño nuclear como para constatar la ocurrencia de un accidente nuclear. Efectivamente, el hecho generador de responsabilidad civil nuclear (accidente nuclear) puede definirse

como cualquier acción u omisión que, por medio de sustancias radioactivas, causa daños nucleares. A su vez, los daños nucleares son aquellas lesiones a intereses patrimoniales o extrapatrimoniales provocadas por sustancias radioactivas.

4.3.2. Tipos de daños que se declaran reparables

La definición de daño nuclear de la Ley de Seguridad Nuclear contiene una referencia vaga tanto a los daños patrimoniales (daños a los "bienes"), que pueden entenderse referida al daño emergente, y a los daños extrapatrimoniales (la muerte, lesiones y sus consecuencias psíquicas).

Para efectos de orden, y dada la carencia de normas precisas en el sistema nacional (común y especial), y a la necesidad consecuente de recurrir a las reglas dictadas por la jurisprudencia, a continuación se expone de manera sucesiva: **(i)** El principio de reparación integral del daño y su aplicación a la responsabilidad civil nuclear; **(ii)** La procedencia de la indemnización de los daños patrimoniales; y, **(iii)** La procedencia de la indemnización de los daños extrapatrimoniales.

(i) En la práctica nacional (derecho civil supletorio) se ha generalizado el denominado principio de ***reparación integral del daño***, de inspiración francesa, y que justifica la indemnización de todos los perjuicios patrimoniales y extrapatrimoniales, con el objeto de colocar a la víctima en la situación probable en que se encontraría de no haberse producido el acto ilícito[257].

Ahora bien, se ha sostenido que hacen excepción a este principio general en nuestro sistema jurídico precisamente los casos de regímenes especiales de responsabilidad civil sometidos a límites legales de responsabilidad. Es lo que ocurre en materia de responsabilidad civil nuclear, pues la ley, así como los Tratados Internacionales y gran parte de la experiencia comparada considerada relevante, someten esta indemnización a un estatuto estricto de responsabilidad, pero como contrapartida fijan límites o montos máximos de responsabilidad (en nuestro derecho vigente, US $75 millones).

Como se expondrá al revisar los vacíos y contradicciones en la materia, esta cuestión obliga a formularse dos preguntas relevantes:

a) La primera en orden a cuál es el tratamiento que se le otorgarán a los daños que excedan ese límite de responsabilidad. Una opción, en beneficio de las víctimas, es abrirles el derecho a la reparación, bajo condición de que prueben culpa o dolo de un agente en la producción del daño nuclear (esto es, bajo el derecho civil común),

[257] Este principio fue tempranamente invocado por la jurisprudencia, v. por ejemplo, Corte Suprema, 18 de diciembre de 1926, RDJ, T. XXIV, 1927, sec. 1ª, p. 567. En la actualidad, números fallos, y la mayoría de la doctrina nacional, confirma su existencia.

proceder que al mismo tiempo permitiría no dejar sin sanción a tal autor. Otra opción, en beneficio de la actividad de generación eléctrica nuclear, es prohibir a las víctimas demandar daños más allá de esos límites, posibilitando o facilitando con esto la contratación de seguros. Se volverá sobre este tema al tratar los vacíos y contradicciones en materia de daños nucleares.

b) La segunda cuestión deriva de la anterior. Si se opta por restringir a las víctimas el acceso a las reglas del derecho civil supletorio, debiendo contentarse con los límites de responsabilidad impuestos por la legislación especial, entonces de manera inevitable quedarán daños sin reparar, como lo muestra la experiencia comparada.

En efecto, como lo muestra el caso de Chernóbil, un accidente nuclear puede provocar daños por centenas de millones de dólares, que se prologan por décadas, y que provocan las más diversas consecuencias nocivas: pérdidas de vidas humanas, lesiones corporales, enfermedades graves e incurables, perturbaciones psicológicas, destrucciones materiales, pérdidas económicas, degradaciones al medio ambiente, perturbaciones socioeconómicas, etc. Sólo basta con pensar que en el caso de Chernóbil decenas de personas murieron por efectos directos de la radiación, millares fueron afectadas de enfermedades graves, 100.000 personas debieron ser desplazadas, millares de kilómetros cuadrados de tierras agrícolas fueron contaminadas y no pueden ser utilizadas hasta el día de hoy, entre otras consecuencias.[258]

Por ello, si se opta por establecer una responsabilidad limitada, surge necesariamente la cuestión de determinar qué daños y a qué victimas se indemnizará prioritariamente con los fondos provenientes de las coberturas obligatorias.

Por último, también en esta materia se plantea nuevamente la cuestión de determinar si existe un orden de prioridad entre las distintas categorías de daño reparable. Esto es, si debe preferirse la indemnización de algunos por sobre otros, particularmente considerando que existen límites máximos de responsabilidad.

La Ley de Seguridad Nuclear establece una regla de la que se puede inferir una especie de prioridad de la indemnización de los daños a las personas por sobre los daños a los bienes: *"El pago de la indemnización estará sujeto a la siguiente regulación: 1. Los daños a las personas se indemnizarán, a lo menos, con el doble de la cantidad que correspondiere por aplicación de las tablas del seguro de Accidentes del Trabajo. 2. Los daños a las cosas, en el evento de que la cantidad límite de responsabilidad no sea suficiente, se indemnizarán a prorrata de su monto"* (art. 61).

Sin embargo, esta disposición nada dice, por ejemplo, entre la prioridad que puede

[258] Schwartz Julia, "Le droit international de la responsabilité civile nucléaire: l'après Tchernobyl", in *OECD,* 2006, p. 41 y s.

existir entre la reparación de los daños al medio ambiente por sobre los daños a los bienes privados. Más aún, al referirse a los daños personales, pareciera establecer una evaluación de los mismos (el doble de las tablas de accidente del trabajo), y no una prioridad de reparación.

Al tratar de los vacíos y contradicciones en materia de daños nucleares se volverá sobre este punto.

(ii) En cuanto a la reparación de los daños patrimoniales, según el artículo 1556 del Código Civil –que la jurisprudencia estima categóricamente aplicable a la responsabilidad extracontractual que es el derecho civil supletorio a los daños nucleares-, el daño patrimonial puede definirse como aquel que tiene valor de mercado, *presente* en el caso de deterioro o de la destrucción de una cosa corporal y de los gastos incurridos con motivo del accidente (daño emergente) o *futuro*, cuando se pierden ganancias esperadas (lucro cesante).

Su determinación se efectúa *in concreto*, analizando el estado anterior de la víctima y el posterior al accidente. La indemnización de estos daños patrimoniales está sujeta a una serie de reglas técnicas que la jurisprudencia nacional ha establecido de un modo más bien implícito para el estatuto común de la responsabilidad civil.

En la materia, la cuestión que se plantea es determinar si la definición contenida en la Ley de Seguridad Nuclear es comprensiva de todos esos perjuicios patrimoniales, como por ejemplo el lucro cesante. A diferencia del daño emergente, que es un daño a un bien del patrimonio, el lucro cesante se encuentra representado por la pérdida de ganancias futuras, generada directa o indirectamente por el accidente nuclear en este caso.

En todo caso, debe tenerse presente que aunque se estimara indemnizable, la jurisprudencia nacional somete con frecuencia la indemnización del lucro cesante a una prueba prácticamente de certidumbre absoluta, lo que termina por excluir injustamente toda reparación a la víctima (o a indemnizarlo mediante una noción genérica de daño moral)[259].

Respecto de estos daños patrimoniales, la definición de la Ley de Seguridad Nuclear escapa a las definiciones de daño que actualmente constan en los instrumentos internacionales, los que se han examinado en la sección (2.) de este informe. En particular, la definición plantea dudas no sólo sobre la procedencia de la reparación del lucro cesante, sino también acerca de la cuestión de saber si las pérdidas puramente económicas se encuentran o no comprendidas en las categorías de daño reparable por accidente nuclear.

[259] Por ejemplo, entre los innumerables fallos, Corte de Apelaciones de Concepción, 23 de agosto de 1999, RDJ, T. XCVI, 1999, sec. 4ª, p. 199.

En efecto, otra pregunta complicada se refiere al daño puramente patrimonial, que consiste en pérdidas en dinero directas, sin que se haya provocado un daño a un bien o a la integridad física de la víctima (como el provocado por una información errónea que lleva adoptar una decisión de negocios equivocada). La reparación de este daño presenta serias objeciones en el derecho comparado, particularmente en los sistemas que no prevén el principio de reparación íntegra del derecho francés. El argumento es que en una sociedad abierta y competitiva el daño patrimonial parece ser, más bien, la consecuencia natural de la actuación de los agentes económicos.

En el derecho civil común chileno no parecen existir inconvenientes para declarar estas pérdidas puramente patrimoniales como perjuicios indemnizables, si bien no existe un tratamiento sobre las mismas.

Cabe insistir que los instrumentos internacionales en la actualidad declaran expresamente procedente la reparación de los daños puramente patrimoniales provenientes de un accidente nuclear, como se expuso en la sección (2.) de este informe. A su vez los sistemas comparados tienden a priorizar la reparación de los daños corporales por sobre estos puramente patrimoniales.

Tampoco existe referencia en la legislación nacional especial (Ley de Seguridad Nuclear) a las medidas para reparar y prevenir la expansión de los daños, en especial de los ambientales, que sí se contemplan en los Convenios Internacionales.

Finalmente, en lo que respecta precisamente la responsabilidad ambiental en Chile[260], la pregunta que presenta el derecho vigente, es si los daños ambientales están comprendidos en la definición de daños nucleares de la Ley de Seguridad Nuclear, y, dependiendo de su respuesta, cuál es el ajuste normativo que resulta necesario al respecto, y cuál de las dos legislaciones debería aplicarse de manera preferente.

Desde ya, se plantea incluso la pregunta si la misma noción de "daño ambiental" de la legislación especial resulta aplicable a la responsabilidad civil nuclear[261], que constituye un estatuto especial separado y de aplicación prioritaria por sobre los otros. Por lo demás, el estatuto de la responsabilidad civil ambiental no tiene, a diferencia del estatuto civil del Código Civil, una aplicación supletoria respecto del régimen nuclear.

---

[260] V. entre los múltiples trabajos, se destacarán los siguientes: Barros Enrique, "Responsabilidad civil en materia de medio ambiente", *in Derecho del medio ambiente*, Facultad de Derecho, Universidad de Chile, Santiago, Conosur, 1998; y, Banfi Cristián, "De la responsabilidad civil como instrumento de protección ambiental", *Revista Chilena de Derecho Privado, Fundación Fernando Fueyo Laneri,* 2004, n°2, p. 19.

[261] La Ley N°19.300 de Bases del Medio Ambiente, contiene la siguiente definición en su artículo 2° letra e): "*Daño Ambiental*: toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes".

Todas estas cuestiones son abordadas nuevamente, pero con mayor detención, en el siguiente capítulo, pues coinciden con los vacíos y contradicciones detectados en materia de daño nuclear.

(iii) Respecto de los daños extrapatrimoniales o morales, éstos afectan, en el derecho civil supletorio, aspectos de la personalidad no evaluables en dinero, aunque susceptibles de ser comparados entre sí para establecer sus valores relativos.

Por esto, la indemnización que se pueda conceder a la víctima en la materia sólo puede lamentablemente compensar las consecuencias muchas veces irreversibles del accidente con otras satisfacciones que le pueda brindar el dinero.

La determinación clara de los parámetros de valoración de los daños morales resulta indispensable desde el punto de vista de los responsables (en este caso, de los explotadores, que pueden medir las consecuencias de sus actos, tomar las medidas preventivas y asegurarse) y de las víctimas (para conocer los daños que serán cubiertos y poder efectuar gastos en miras de su recuperación).

La cuestión de la reparación del daño moral ha sido particularmente examinada y debatida por la doctrina comparada y nacional en las últimas décadas, pues es una categoría no regulada por el derecho positivo vigente, aún cuando la jurisprudencia ha generalizado su indemnización desde la década de 1920.

Usualmente estos daños son el componente más importante de la indemnización de los accidentes en que está involucrada la lesión a la integridad física o psíquica de las personas. Como usualmente los daños nucleares provocan estas consecuencias, resulta conveniente efectuar una breve referencia a la evolución que ha tenido esta materia en Chile, que ha transitado desde la negación hasta una amplísima e incierta regla de reparación. Si bien este desarrollo se ha dado en el marco del derecho civil supletorio, él resulta, como se adelantó, aplicable a los daños nucleares, pues la noción de daño moral en Chile es unitaria y se aplica a los distintos regímenes especiales. Por ello, en materia de responsabilidad civil nuclear, la indemnización del eventual daño moral que provoquen los accidentes nucleares es probablemente el ítem más importante y merece ser revisado como se expone a continuación.

En el siglo XX, la indemnización del daño moral se consolidó en el derecho comparado. En algunos sistemas jurídicos se produjo una evolución controlada y atenta a los límites del daño reparable y a los montos de las indemnizaciones, excluyendo el daño moral por rebote, estandarizando los montos de las indemnizaciones, etc.[262]. Sin embargo, el

[262] Como ha ocurrido, con varios matices, en el *common* law y en los derechos español, italiano y alemán.

derecho francés, y varios de los países que han seguido su *principio de reparación integral* (entre ellos, el derecho chileno), conceden indemnización por todo tipo de daños morales, inmediatos y por rebote, introduciendo subdistinciones al interior de cada tipo de perjuicio.

En el caso chileno, el Código Civil no contiene una definición de daño moral y la única norma que indirectamente se refiere a la materia excluye su reparación (art. 2331). Siguiendo a la práctica francesa, en nuestro derecho el daño moral fue una creación eminentemente jurisprudencial. Desde la entrada en vigencia del Código Civil y hasta principios del siglo XX la jurisprudencia entendía que sólo era indemnizable el daño patrimonial referido por el artículo 1556 y se mostró contraria a conceder una reparación por perjuicios morales (por la imposibilidad de apreciar pecuniariamente derechos o intereses inmateriales).

Sin embargo, ello no impidió que algunas sentencias, sobre todo en materia de accidentes causados por tranvías y ferrocarriles (actividades que podemos considerar peligrosas), indemnizaran daños corporales con incidencia patrimonial y extrapatrimonial (muerte o lesiones del padre de familia o de un hijo menor), avaluándose los perjuicios en una suma global.

El cambio definitivo de la tendencia jurisprudencial chilena se produjo por una sentencia de la Corte Suprema de 1922, que argumenta extensamente en favor de la indemnización del daño moral y cuya relevancia es destacada por la mayor parte de la doctrina nacional[263]. Con posterioridad, la jurisprudencia asumió que el daño moral era indemnizable, agregando ocasionalmente nuevos argumentos. Esta consolidación jurisprudencial se ha visto alentada por la creciente valoración de los bienes de la personalidad.

En la actualidad, no está en discusión en Chile que procede indemnizar el daño moral (incluso en materia contractual), salvo en lo que respecta al que puedan sufrir las *personas jurídicas* (que en el derecho comparado ha dado lugar a algunos excesos).

---

263 La decisión recayó en un caso de daño moral reflejo sufrido por un padre a consecuencias de la muerte de su hijo de 8 años, atropellado por un tranvía. El fallo sintetiza los argumentos tradicionales para apoyar la reparación del daño moral: *(i)* el artículo 2329 el Código Civil prescribe que "*todo daño"* debe ser reparado, sin distinguir su naturaleza, comprendiendo "los de orden inmaterial o psíquico"; *(ii)* "que la consideración de que la muerte sea un mal irreparable... no excluye la responsabilidad establecida por la ley"; *(iii)* que "la reparación del daño causado, no puede obtenerse en muchos casos de un modo absoluto y para alcanzar una reparación relativa, no existe otro medio que la sanción pecuniaria"; y *(iv)* que "la falta de equivalencia entre el mal producido y la reparación concedida, y la repugnancia para estimarlo en dinero, no demuestran sino la insuficiencia de los medios" de que dispone el legislador, pero que ello no se concluye que "deba dejar de aplicarse la sanción… como represión o reparación de los actos ilícitos".
Corte Suprema, 16 de diciembre de 1922, RDJ, T. XXI, 1922, sec. 1a, p. 1053.

Al menos respecto de las personas naturales, la evolución descrita produjo que en derecho nacional vigente se indemnice en la actualidad una amplia variedad de perjuicios extrapatrimoniales. En efecto, como se dijo, la jurisprudencia comenzó a indemnizar el daño moral inicialmente en la década de 1920 sobre la base de una definición próxima al *pretium doloris,* que ha tendido a mantenerse.

Esta asimilación no ha impedido, sin embargo, que se conceda ocasionalmente indemnización por daños morales denominados en la práctica comparada (particularmente francesa) como: *perjuicios estéticos* (como las quemaduras en el rostro o las cicatrices de intervenciones transformadas en necesarias por el accidente); *pérdida de los goces de la vida* o *perjuicio de agrado* (privación de la posibilidad de acceder a estudios, placeres normales, etc.) y *perjuicio sexual* (imposibilidad, transitoria o permanente, de mantener relaciones sexuales).

Por otra parte, varias sentencias consagran implícitamente el denominado *daño corporal,* que constituye más bien una categoría funcional utilizada para agrupar las consecuencias patrimoniales y extrapatrimoniales de atentados a la integridad física o psíquica (para efectos de facilitar su evaluación o su cobertura por seguros).

Asimismo, diversos atributos de la personalidad (como la honra, la intimidad, vida privada o la imagen) o intereses relacionados con la calidad de vida en general (ruidos molestos, malos olores o daños ecológicos) dan también lugar a la reparación.

Finalmente, a esta lista debe agregarse el *daño por rebote*, esto es, la reparación del daño patrimonial y moral reflejos de las lesiones corporales o de la muerte de la víctima principal.

Los términos amplios de la Ley de Seguridad Nuclear conducen a la conclusión de que en el derecho de la responsabilidad nuclear chileno todas estas categorías de daños extrapatrimoniales deberían ser reparados.

Se volverá sobre este punto al tratar las contradicciones y vacíos en materia de daño nuclear.

4.3.3. La noción de daños directos e indirectos

La definición de la Ley de Seguridad Nuclear también hace referencia a la relación de causalidad, pues exige que los daños provengan de tales sustancias nucleares "directa o indirectamente". Esta cuestión se vincula con el requisito o condición de la responsabilidad civil denominada causalidad.

Esta cuestión es esencial para los efectos de determinar el alcance de los daños de que se responderá, por lo que es necesario efectuar una exposición sucinta acerca del concepto de causalidad reconocido por el derecho civil supletorio que, en ausencia de tratamiento especial en la Ley de Seguridad Nuclear, correspondería aplicar en estos casos.

La causalidad es una condición común a la responsabilidad por negligencia y estricta. A pesar de no encontrarse expresamente mencionada en el Código Civil, puede inferirse de algunos artículos (arts. 1437, 2314 y 2329), y en todo caso existe como un imperativo mínimo de justicia: sólo puede hacerse responsable a alguien de las consecuencias que provienen de su acción. A diferencia de lo que ha ocurrido recientemente en el derecho comparado, en el derecho nacional esta noción ha planteado más discusiones doctrinales que problemas prácticos[264].

La causalidad es una noción proveniente de las ciencias exactas, que el derecho vuelve bastante aproximativa. La jurisprudencia no siempre respondió a las teorías elaboradas por la doctrina (*equivalencia de las condiciones*, *causalidad adecuada*, etc.), conformándose con una relación necesaria y directa entre acción y daño.

En gran medida estas dos nociones (necesaria y directa), aluden a las dos funciones de la causalidad: como condición de la responsabilidad la causalidad responde a una relación "necesaria" (en el sentido físico) entre la acción y el daño; y, como medida de la responsabilidad, la causalidad atiende a una noción normativa "directa", que exige una apreciación de qué daños el derecho considera atribuibles a una acción, elegidos entre las muchas consecuencias mediatas e inmediatas que puede provocar.

Así, una revisión exhaustiva de los fallos nacionales en materia de causalidad permite concluir que la jurisprudencia considera que debe probarse que el hecho que se imputa al agente es una condición *necesaria* del daño. Pero esto no es suficiente, sino que el daño debe también poder atribuirse "normativamente" a la acción del agente, para lo cual no existen respuestas categóricas, sino algunos criterios de argumentación. Entre estos criterios, puede mencionarse los fines protectores de la norma (importante sobre todo en hipótesis de culpa infraccional), que permiten excluir de la reparación las consecuencias ignoradas en sus propósitos.

---

[264] En el derecho nacional, el estudio de la relación de causalidad ha dado origen a varios artículos y libros. V. entre éstos, se destaca: Araya Fernando, *La Relación de causalidad en la responsabilidad civil*, Santiago, Lexis Nexis, 2003; Baraona Jorge, "La causa del daño en la jurisprudencia reciente", *Revista Chilena de Derecho*, n° 30, 2003, p. 345; Domínguez A. Ramón, "Aspectos de la relación de causalidad en la responsabilidad civil con especial referencia al derecho chileno", *Revista de Derecho Universidad de Concepción*, n° 209, 2001, p. 7; y, Veloso Paulina, "La previsibilidad es un requisito de la culpa y no de la relación causal", *in* MARTINIC María Dora (coord.), *Nuevas tendencias del derecho*, Santiago, LexisNexis, 2004, p. 249.

Pero sin duda el criterio más importante es la noción de daño "directo", previsto en el Código Civil para la responsabilidad contractual (art. 1558), que la jurisprudencia estima también aplicable a la responsabilidad civil extracontractual. La precisión de este concepto, que contribuye a responder la pregunta de qué daños deben atribuirse a la acción del agente, se vincula esencialmente a la teoría de la "*causalidad adecuada*", al requisito de la previsibilidad del daño y al sopesamiento de los riesgos que provoca la actividad del agente.

Puede así sostenerse que la jurisprudencia chilena considera que la víctima debe probar que el daño es una consecuencia necesaria de la acción del agente, y que éste, para descargarse de la responsabilidad, debe probar que su acción está en relación de causalidad "indirecta" con los perjuicios provocados.

Así, puede sostenerse que en el estado actual de la evolución de la responsabilidad civil, la jurisprudencia chilena utiliza estos criterios, con mayor o menor grado de intuición. En el fondo, despojada de las pretensiones científicas que quisieron darle algunas teorías, la causalidad es una condición de la responsabilidad que tiene directa relación con aquello que socialmente se considera que debe soportar el agente, de entre las muchas veces múltiples consecuencias nocivas de su acción. Y esa valoración social es evolutiva y depende de varias consideraciones: el nivel de riqueza de la sociedad; la importancia que se le otorgue al emprendimiento individual (que implica la asunción de riesgos), relevante en el caso en análisis; la generalización del seguro, o su declaración como obligatorio, en algunas áreas, etc.

En efecto, en una inmensa mayoría de los casos la relación de causalidad *necesaria* se presenta con tal evidencia entre la acción del agente y el daño, que resulta muy difícil sostener que sin aquella éste de todas maneras se habría producido. Por esto, el discernimiento de la relación causal relevante para el derecho, y en definitiva la distinción entre los daños que debe reparar el responsable y aquellos que deben quedar a cargo de la víctima, es una decisión que no puede adoptarse únicamente con instrumentos técnicos.

Volviendo al análisis de la Ley de Seguridad Nuclear, al indicar que se responde por los perjuicios directos e indirectos, el legislador ha efectuado tal valoración, considerando apropiado extender la reparación causalmente, aún considerando la existencia de límites de responsabilidad que envuelve la actividad nuclear y la existencia de seguros obligatorios.

Prueba de esta concepción amplia de la causalidad es el artículo 55 de la Ley de Seguridad Nuclear, que establece: "*Si junto con los daños nucleares se produjeren además otros por otra causa distinta o concurrente o derivada de un accidente nuclear sin que*

puedan distinguirse ellos con certeza, todos se reputarán daños nucleares".

Esta regla se refiere a lo que se denomina en el derecho de la responsabilidad civil el problema de las causas concomitantes o de la pluralidad de causas, que generalmente se resuelve con la búsqueda de la causa determinante del daño. En ese caso, por el texto de la Ley de Seguridad Nuclear, tal búsqueda resulta innecesaria, pues basta que una sola de las causas haya tenido su origen en un accidente nuclear para estimar aplicable la responsabilidad especial por daños nucleares. Ello prueba la amplitud de la Ley de Seguridad Nuclear y la inmensa puerta que abre a la reparación de diversos daños, relacionados incluso indirectamente con el accidente nuclear.

Esta expansión de los daños reparables, por la vía de la causalidad, plantea varias cuestiones conflictivas. Por ejemplo, en materias tales como la determinación de la influencia causal de un tercero que interviene en la producción del daño, la definición del rol atribuible a las predisposiciones de la víctima o a su acción negligente, la obligación y la contribución a la deuda en caso de que varios agentes hayan provocado el daño, etc.

Este tema es uno de los puntos críticos que deben ser abordados en la necesidad de ajustar el marco legal chileno, y también se volverá sobre él más adelante pues es tratado como un vacío o contradicción que debe ser abordado.

4.4. La noción de responsable

En esta sección se abordará: **(4.4.1.)** La naturaleza objetiva de la responsabilidad nuclear; **(4.4.2.)** La eventual intervención de la responsabilidad del Estado; **(4.4.3.)** La noción de explotador (persona responsable); **(4.4.4.)** la noción de instalación (lugar donde ocurren los daños); y, **(4.4.5.)** La extensión geográfica cubierta.

4.4.1. Naturaleza objetiva de la responsabilidad nuclear de la Ley de Seguridad Nuclear

El artículo 49 de la Ley de Seguridad Nuclear establece que la responsabilidad por daños nucleares es "objetiva".

La llamada responsabilidad objetiva es una excepción a la regla general de responsabilidad subjetiva o por culpa, que es la que se encuentra prevista en el derecho civil supletorio.

Por tanto, para comprender el alcance de esta responsabilidad objetiva nuclear, es necesario efectuar algunas anotaciones sobre el estatuto general de la responsabilidad por culpa, del que tal responsabilidad objetiva por daños nucleares hace excepción.

En general, la responsabilidad civil es un juicio normativo que permite atribuir a una persona los efectos patrimoniales de un daño provocado a otra. La regla general es que cada quien soporte los perjuicios que provienen de la vida en sociedad. Sin embargo, un principio elemental de justicia (correctiva) conduce a imponer la carga de estos daños a un tercero cuando concurren ciertas circunstancias, en particular, cuando existe una actuación negligente (culpa) o cuando los riesgos de la actividad justifica que sean asumidos por quien la explota y se beneficia de la misma (objetiva o estricta).

El Código Civil chileno, que es la legislación civil supletoria, contiene una regla general y amplísima de responsabilidad civil por negligencia o culpa (arts. 2314 y s.)[265]. Esta regla es propia de la modernidad, pues en Roma, y en general en todas las civilizaciones en que la responsabilidad penal no se encontraba separada suficientemente de la civil, los ilícitos que dan lugar a reparación pecuniaria son específicos. En realidad, la verdadera innovación de la regla del Código Civil es la generalidad de la fórmula empleada y no la *culpa* o *negligencia*, que como criterio de atribución de la responsabilidad civil por algunos ilícitos específicos ya estaba presente en Roma.

De esta forma, a través de una regla general de responsabilidad por negligencia, el Código Civil entrega una amplísima herramienta para que la jurisprudencia pueda extender la responsabilidad a muchas consecuencias nocivas de los comportamientos descuidados y maliciosos. Basta que exista un daño y que en el origen del mismo se encuentre una actuación u omisión negligente de alguien para declararlo responsable y condenarlo a indemnizar los perjuicios.

Por ello, aún en ausencia de legislación especial, sobre la base de las reglas generales de responsabilidad por culpa del Código Civil, es posible declarar responsable por el accidente al explotador de la energía nuclear, siempre y cuando se pruebe una negligencia de su parte.

Sin embargo, en la práctica del derecho comparado, como también ha ocurrido en la realidad nacional, las reglas de la responsabilidad por negligencia resultan insuficientes e inadecuadas para hacer frente a los graves riesgos que provienen de la explotación de instalaciones nucleares, así como de otras actividades altamente peligrosas (por ejemplo, el transporte de hidrocarburos).

---

[265] En el derecho chileno, se pueden consultar las siguientes obras generales sobre la materia: el clásico texto de Alessandri Arturo, *De la Responsabilidad extracontractual en el derecho civil chileno* Imprenta Universitaria, Santiago, 1943; Corral Hernán, *Lecciones de Responsabilidad civil extracontractual*, Editorial Jurídica de Chile, Santiago, 2003; Barros Enrique, *Tratado de responsabilidad extracontractual*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2006; y, Tapia Mauricio "Ciento Cincuenta años de responsabilidad extracontractual en Chile", *in Responsabilidad civil. Liber amicorum a François Chabas*, Buenos Aires, Rubinzal-Culzoni Editores, 2007, pp. 41-75.

En efecto, el surgimiento de nuevos y graves riesgos, vinculados a la industrialización, a la masificación de la economía y al desarrollo de los medios de transporte, dio nacimiento a regímenes especiales de responsabilidad que en su mayoría contemplan una responsabilidad estricta (a veces sujetas a limitaciones legales) y la obligación de suscribir un seguro de responsabilidad, como ocurre en la actividad nuclear.

De esta forma se evita a las víctimas la prueba muchas veces imposible de la negligencia que pudo dar origen al accidente. Piénsese en la actividad nuclear, la complejidad de las instalaciones y de las técnicas diseñadas para explotarlas -cuestiones que conoce y controla sólo el explotador-, dejaría a las potenciales víctimas en una situación muy desfavorable si tuvieran que encontrar y probar la negligencia concreta que estuvo en el origen del accidente y al responsable especifico. El costo de tal prueba equivaldría en gran medida a negarles el derecho a la indemnización a las víctimas.

Es por eso que en materia nuclear, como en otras áreas, se establecen regímenes especiales de responsabilidad sin culpa, en beneficio de las víctimas. Como contrapartida, y tal como se ha insistido, la responsabilidad resulta limitada en montos y va unida a la contratación de un seguro obligatorio.

En efecto, más que regímenes especiales de responsabilidad con lógicas autónomas, estas reglas – como aquellas que rigen a la responsabilidad por daños nucleares- en su mayoría sólo hacen excepción al requisito de la culpa (presumiéndola o descartándola como condición de la responsabilidad) y establecen límites de responsabilidad y seguros obligatorios, pero utilizándose las normas del Código Civil respecto de las demás condiciones de la responsabilidad. En particular, como ya se ha expuesto, la causalidad y el daño reparable se sujetan en gran medida a las normas del Código Civil.

Por lo demás, la mayoría de estos denominados regímenes especiales abren a las víctimas el recurso subsidiario a la responsabilidad por negligencia del Código Civil por daños no cubiertos por sus normas (como ocurre, por ejemplo, en materia de accidentes del trabajo y de accidentes aéreos). Tal cuestión, sin embargo, en materia de responsabilidad civil nuclear presenta graves inconvenientes, y será abordado más adelante al tratar los vacíos y contradicciones en materia de daño nuclear.

En síntesis, en la responsabilidad civil por daño nuclear vigente en Chile no es necesario probar la negligencia, impericia o imprudencia de alguien para condenar al pago de una indemnización al explotador. Basta que un daño nuclear se produzca por un accidente nuclear proveniente de las instalaciones del explotador.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que la única consideración o evaluación del comportamiento del agente tiene lugar en la responsabilidad nuclear cuando una

persona ha causado dolosamente un daño que no pueda ser atribuible al explotador, según lo prescrito por la Ley de Seguridad Nuclear (art. 59). En tal caso, sin embargo, la Ley de Seguridad Nuclear no especifica si esa indemnización debe sujetarse al derecho común o al régimen objetivo que ella misma prevé, y lo más lógico es que tratándose de un tercero (pues el daño en tal caso no es atribuible al explotador) se apliquen las reglas del derecho civil supletorio de la responsabilidad por culpa probada.

4.4.2. Naturaleza de la responsabilidad del Estado

La eventual intervención del Estado en materia de explotación de la energía nuclear, plantea la interrogante acerca del estatuto de responsabilidad que se le aplica, cuestión que en el derecho nacional está sujeto a muchas ambigüedades e indefiniciones.

A diferencia de otros sistemas jurídicos, la responsabilidad del Estado se encuentra sujeta en el derecho nacional a la jurisdicción de los tribunales ordinarios y, por esto, estrechamente vinculada a la responsabilidad civil. La evolución de la responsabilidad de los órganos públicos en el derecho nacional ha sido bastante tortuosa y no corresponde aquí referirse a ella en detalle (irresponsabilidad, distinción entre actos de autoridad y de gestión, falta de servicio, etc.).

Lo importante es destacar que en la actualidad la responsabilidad del Estado se funda en la denominada *falta de servicio* y tiene un sustento legal relativamente claro aunque incompleto: la Constitución (arts. 6, 7 y 38), la ley de bases generales de administración del Estado (N°18.575, arts. 4 y 42), la ley orgánica de municipalidades (N°18.695), y la ley sobre régimen de garantías en salud (N°19.966, art. 38).

Una parte de la doctrina nacional ha interpretado la noción de falta de servicio como el reconocimiento de una responsabilidad estricta a cargo del Estado, que agregaría a la causalidad y al daño sólo un requisito de *antijuricidad* (esto es, que no sea un perjuicio que la víctima debe soportar). Pero los fundamentos normativos de esta doctrina son dudosos, su base teórica es discutible (sobre todo porque esa noción de "antijuridicidad" invierte el peso argumentativo del juicio de responsabilidad), sus resultados parecen inequitativos y altera la racionalidad del gasto público (por ejemplo, de seguir esta doctrina, los hospitales públicos terminarían siendo responsables de forma más severa que las clínicas privadas).

Pero, sobre todo, esta teoría no es consistente con la práctica judicial nacional que para comprobar la existencia de una falta de servicio aprecia la conducta del órgano público, el funcionamiento negligente del servicio (tal como ocurre con la culpa civil). Esta tesis se confirma con la última de las leyes citadas, que dispone expresamente que *la falta de servicio* debe acreditarse y que alude a la conducta *imprudente* o *dolosa* del funcionario que participó en la acción (art. 38 ley n°19.966). En todo caso, debe destacarse que la

responsabilidad del Estado, a diferencia de aquella de las personas jurídicas de derecho privado, es una responsabilidad personal y directa, y no por el hecho ajeno de sus funcionarios o dependientes.

Una pegunta surge de esta constatación: ¿en caso de ser total o parcialmente propietario el Estado de estas centrales, qué implicancias ello tendría conforme a las actuales reglas de la responsabilidad del Estado?

En verdad, como ocurre en los Tratados Internacionales y en la experiencia comparada relevante, en este punto la propiedad de las plantas resulta indiferente, pues el estatuto específico de la responsabilidad civil nuclear debe aplicarse prioritariamente por todo otro régimen de responsabilidad. Se trata de un estatuto único o uniforme, que se impone por sobre la responsabilidad del derecho civil supletorio y de la responsabilidad del Estado.

En atención a la relevancia de despejar este punto, se volverá sobre él, en un apartado especial, al tratar de los vacíos y contradicciones.

4.4.3. La noción de explotador

No existiendo el requisito de la negligencia en este régimen especial de responsabilidad civil nuclear, las únicas condiciones provenientes del agente que importan son: ser susceptible de ser considerado "sujeto pasivo" de la acción de responsabilidad (cuestión que se vincula a su carácter de explotador o transportista) y haber ocurrido un "accidente nuclear".

La Ley de Seguridad Nuclear regula en detalle lo que denomina "persona responsable", esto es, las instituciones que responden civilmente por los daños nucleares conforme a sus disposiciones.

Toda entidad que no pueda ser considerada "persona responsable" según sus disposiciones, pero que se encuentre en el origen de un accidente, no queda impune sino que responde conforme a las reglas generales de la responsabilidad civil por negligencia, debiéndose, en consecuencia, probarse la culpa o el dolo.

Como se expone a continuación, la persona responsable es el explotador, el transportista y el que manipula sustancias nucleares o materiales radioactivos.

Ante todo, la Ley de Seguridad Nuclear declara responsable al **explotador**, esto es, "*la persona que en la correspondiente licencia o autorización dada por la Comisión, haya asumido la calidad de explotador de una instalación, planta, centro, laboratorio o establecimiento nuclear*" (art. 50, en relación con el art. 3 N°11).

Es necesario recordar al respecto que la Ley de Seguridad Nuclear define "autorización" como "*licencia o permiso otorgado por la Comisión, a petición de un solicitante, para que éste pueda ejecutar actividades específicas, relativas a la energía nuclear, en instalaciones nucleares o con sustancias nucleares*" (art. 3° N°12).

Ahora bien, si "*la responsabilidad por daños nucleares recae en más de un explotador y no puede precisarse la parte de ella que toca a cada uno, todos serán solidariamente responsables del monto máximo de la indemnización, sin perjuicio de concurrir en definitiva por partes iguales a su pago*" (art. 53).

Esta norma establece que frente a las víctimas cualquiera de los explotadores es responsable por el total de la indemnización, sólo siendo necesario que se demande a uno de ellos, cuestión que es el efecto principal de la solidaridad pasiva en materia de responsabilidad civil. Sin perjuicio de lo anterior, el explotador que paga la indemnización podrá exigir su parte a los otros explotadores involucrados, conforme a las reglas de la contribución al pago de la solidaridad pasiva.

Por otra parte, la Ley de Seguridad Nuclear también declara responsable a los **transportistas** de sustancias nucleares o radioactivas y al que **manipule** desechos radiactivos (art. 54).

Es necesario tener presente que esta responsabilidad al afectar, además del transportista, al manipulador de desechos radioactivos, conduce a la conclusión de que, al menos en el estado actual del derecho nacional, el manejo de desechos está sujeto al mismo estatuto de responsabilidad objetiva que los daños nucleares y, en tal carácter, debería tener una aplicación prioritaria cuando se trata de reparar un perjuicio que a su vez podría quedar cubierto por la responsabilidad ambiental, según lo que ya se ha dicho.

Sin embargo, para que tanto los transportistas como los manipuladores sean considerados explotadores, y por tanto responsables, debe cumplirse la siguiente condición: que "*así se expresa en el acuerdo, aprobado por la Comisión [Comisión Chilena de Energía Nuclear] en virtud del cual el explotador titular autorizado les entrega los materiales o desechos. A partir de su entrega, se harán responsables, como tales explotadores, por los daños nucleares que produjeren estas sustancias o desechos*" (art. 54 Ley de Seguridad Nuclear).

Además, agrega la disposición, "*será considerado como explotador, para efectos de esta ley, todo transportista de sustancias nucleares o de materiales radiactivos que utilice el espacio aéreo nacional, el mar territorial, el mar presencial y la zona económica exclusiva chilena*". Tal disposición fue introducida por la Ley N°19.825, cuyo propósito en la

materia fue el siguiente: "*Esta iniciativa legal surgió de la preocupación de un grupo de parlamentarios frente al inicio de una ruta de transporte comercial de plutonio entre Europa y Japón, y su eventual tránsito por la zona del extremo sur del país, lo que, obviamente, representaría un gran peligro para Chile, debido a su enorme radiotoxicidad y a los efectos que ello pudiere producir en caso de un eventual accidente*"[266].

De la misma forma, la Ley de Seguridad Nuclear establece que si son varios, su responsabilidad es solidaria.

Fuera de estos tres casos, las restantes personas que eventualmente puedan ser responsables de daños nucleares están sujetas al estatuto del derecho civil común (responsabilidad por negligencia o por dolo). Así ocurre, por ejemplo, en el caso de terceros que manipulen sustancias nucleares abandonadas, hurtadas, robadas o perdidas (art. 52 Ley de Seguridad Nuclear).

Cabe hacer presente que la circunstancia de declarar responsable a tres órdenes de agentes (explotador, transportista y manipulador), va en contra de la tendencia de los Tratados Internacionales, y de la mayoría del derecho comparado, que tiene a canalizar la responsabilidad sólo en el explotador, como mecanismo de protección a las víctimas (no se producen controversias acerca de quién es el responsable del daño nuclear específico provocado), y que facilita a su vez la cobertura de los riesgos por seguros o garantías estatales.

Se volverá sobre esta cuestión al tratar la noción de explotador en los vacíos y contradicciones.

4.4.4. Noción de instalaciones

Las instalaciones se encuentran en el origen de los accidentes nucleares, esto es, el hecho que desencadena la aplicación del estatuto de la responsabilidad estricta por daños nucleares.

En este sentido, la Ley de Seguridad Nuclear establece que debe considerarse instalación nuclear (art. 3° N°9): "*a) Los reactores nucleares, salvo los que se utilicen como fuente de energía en un medio de transporte, tanto para su propulsión como para otros fines. b) Las fábricas que utilicen combustibles nucleares para producir sustancias nucleares y las fábricas en que se proceda al tratamiento de sustancias nucleares, incluidas las instalaciones de reprocesamiento de combustibles nucleares irradiados. c) Los depósitos de almacenamiento permanente de sustancias nucleares o radiactivas, excepto los lugares en*

[266] Informe de la Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente acerca del proyecto que modifica la ley Nº 18.302, sobre Seguridad Nuclear, 21 de julio de 1995, Boletín N°918-12.

que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte".

En términos generales esta definición responde a la contenida en las Convenciones Internacionales, que tiende a reconocer como instalación a los reactores, las fábricas y los depósitos de almacenamiento, tal como se expuso en la sección (2.) de este informe.

4.4.5. La extensión geográfica cubierta

Más allá de las instalaciones, el explotador o transportista puede seguir siendo responsable de los daños nucleares que provengan de las sustancias nucleares que reciba o envíe.

En efecto, la Ley de Seguridad Nuclear (art. 50), prescribe que el explotador "*también será responsable de los daños nucleares ocasionados por sustancias nucleares procedentes o que se originen en las instalaciones, plantas, centros, laboratorios y establecimientos a su cargo, pero sólo cuando el accidente nuclear ocurra en alguna de las circunstancias siguientes: 1. Antes de que el explotador de otra instalación nuclear haya asumido, por contrato escrito, la responsabilidad. 2. Antes de que el explotador de otra instalación nuclear se haya hecho cargo efectivamente de las sustancias nucleares, o de que éstas hayan llegado a su instalación, cuando no medie contrato escrito. 3. Antes de que las sustancias nucleares enviadas al extranjero hayan abandonado el territorio nacional y no se hayan hecho cargo de ellas, en la forma señalada, otro explotador, salvo lo previsto en convenios internacionales en que Chile sea parte. 4. Antes de que el explotador de un reactor nuclear utilizado como fuente de energía en un medio de transporte, se haya hecho cargo de las sustancias nucleares destinadas a emplearse en ese reactor".*

La Ley de Seguridad Nuclear agrega que en estos casos, "*la responsabilidad por el daño nuclear incumbe al explotador cuando la haya asumido por escrito o se haya hecho cargo de las sustancias nucleares enviadas a sus instalaciones, o cuando ellas hayan ingresado al territorio nacional, si le son enviadas del extranjero*" (art. 51).

Por otra parte, aún encontrándose fuera de las instalaciones, el explotador sigue siendo responsable por las sustancias nucleares perdidas o robadas: "*El explotador de la instalación, planta, centro, establecimiento o laboratorio nuclear de donde provinieren las sustancias nucleares abandonadas, sustraídas, robadas, hurtadas o perdidas será responsable directamente de los daños nucleares que ellas hayan causado*" (art. 52).

En este caso, "*la responsabilidad civil de los terceros cuando hayan ejecutado tales hechos, se regirá por las reglas del derecho común*" (art. 52).

Estas definiciones se encuentran en general acordes con aquellas previstas en los Instrumentos Internacionales, salvo en lo que se refiere a la canalización de la

responsabilidad en un solo responsable, a la que ya se aludió, y que se vincula a esta materia.

4.5. Las exoneraciones del explotador

En términos generales, las exoneraciones del responsable atienden a las excusas que puede invocar para descargarse de la responsabilidad.

Usualmente, cuando se trata de la responsabilidad común por negligencia o dolo, las excusas se dividen en dos grupos: aquellas que intentan demostrar que actuó con diligencia o sin intención de dañar; y, las otras, que atienden a la intervención de una causa inimputable, como son el caso fortuito y la fuerza mayor, la intervención de un tercero o de la propia víctima. De entre ellos, las nociones más relevantes son el caso fortuito y la fuerza mayor, que aluden a hechos imprevisibles que son imposibles de resistir (por ejemplo, un terremoto).

Las responsabilidades objetivas, por regla general, sólo dan cabida a las exenciones del segundo grupo.

Sin embargo, la responsabilidad civil nuclear presenta en la materia una nueva excepción, pues siguiendo los Tratados Internacionales, la Ley de Seguridad Nuclear declara que el explotador es responsable del caso fortuito y fuerza mayor: "*El explotador responderá siempre del caso fortuito y de la fuerza mayor*" (art. 56).

La única exención posible para el explotador es probar que los daños fueron causados por un conflicto armado: "*Con todo, no causarán responsabilidad para él los daños nucleares producidos por un accidente nuclear que se deba directamente a hostilidades de conflicto armado exterior, insurrección o guerra civil*" art. 56).

Luego la Ley de Seguridad Nuclear establece algunas exenciones en cuanto a los bienes dañados, que más bien involucran una exclusión en el concepto de daño reparable: "*El explotador no será responsable de los daños nucleares sufridos por el medio de transporte en el que se hallaren al momento del accidente nuclear los materiales nucleares que lo causaron*" (art. 57).

Asimismo, respecto de los trabajadores, la Ley de Seguridad Nuclear establece que el explotador no es responsable de los daños cubiertos por regímenes de seguridad social. Nuevamente no se trata de una exención en sentido estricto, sino más bien de la aplicación del principio general de que un daño no puede ser reparado dos veces: "*Los daños nucleares que sufrieren las personas que trabajen en una instalación nuclear profesionalmente expuestas a esos riesgos, no serán indemnizados con arreglo a la presente ley, en la medida en que tales daños nucleares estén cubiertos por algún régimen*

de seguridad social o de accidentes del trabajo o enfermedades profesionales" (art. 58).

Por último, aparece también excluida en la Ley de Seguridad Nuclear la posibilidad de exonerarse por el comportamiento negligente o doloso de terceros. En verdad, la única alternativa de exoneración es cuando el acto doloso ocurre en medio de un conflicto armado. En los otros casos, el explotador responde. Prueba de ello es la redacción del artículo 59: "*La persona que dolosamente haya causado un daño nuclear del cual, de conformidad con esta ley, no derive responsabilidad definitiva para el explotador, será responsable por los daños que se originen por su acción u omisión*". En definitiva, la Ley de Seguridad Nuclear parte de la regla esencial de que un acto doloso de terceros que genera daños nucleares sí puede provocar la responsabilidad del explotador.

En este sentido, como se revisará en el capítulo de vacíos y contradicciones, la legislación vigente presenta varios puntos de encuentro con los Tratados Internacionales, restando sólo la pregunta de cuál es el rol que debe dársele al acto negligente de la víctima que es causa concomitante o principal del daño provocado.

4.6. Límites de responsabilidad

La limitación de responsabilidad es la esencia de la regulación de esta responsabilidad civil nuclear, y es la que permite justificar la severidad del tratamiento del explotador y la posibilidad de la contratación de seguros, como se expuso más arriba.

En la Ley de Seguridad Nuclear el "*límite máximo de la responsabilidad por daños nucleares en que puede incurrir el explotador por cada accidente nuclear, será el equivalente en moneda nacional de la suma de 75 millones de dólares, moneda de Estados Unidos de América, el que se reajustará automáticamente en el porcentaje de la variación de los Derechos Especiales de Giro del Fondo Monetario Internacional, entre la fecha de esta ley y la del accidente nuclear*" (art.60).

La disposición agrega que: "*Esta regla se entiende sin perjuicio del derecho a cobrar los intereses, costas y reajustes que procedan*".

Como se desprende fácilmente de lo anterior, es uno de los puntos críticos que fueron definidos en la materia en la sección (5.) de este informe, pues la Ley de Seguridad Nuclear se aparta de los límites máximos de responsabilidad reconocidos en las redacciones actuales de los Tratados Internacionales. También se volverá sobre este punto al tratar los vacíos y contradicciones.

4.7. Prescripción

La prescripción, esto es, el plazo dentro del cual puede alegarse la reparación, es también un elemento crucial en esta responsabilidad, por varias razones.

En primer lugar, porque el plazo de prescripción del derecho civil supletorio es por lo general insuficiente para hacer frente a estos daños (4 años), pues la manifestación del mismo en las personas es habitualmente tardía.

En segundo lugar, también es un factor importante al momento de analizar la viabilidad de los seguros privados, pues son un componente esencial del riesgo cubierto.

La Ley de Seguridad Nuclear dispone que "*La acción para reclamar por los daños nucleares prescribirá en el plazo de diez años, contando de la fecha en que ocurrió o se denunció por un inspector el accidente nuclear. El demandante podrá modificar su demanda, en razón de agravación del daño sufrido, hasta el momento de dictarse la sentencia definitiva de segunda instancia. La ampliación o modificación de la demanda se tramitará en forma incidental*" (art. 66).

En este punto también la Ley de Seguridad Nuclear se aparta de las Convenciones Internacionales, que establecen 30 años de prescripción para la acción que intente perseguir la reparación de los daños personales, término que, sin embargo, es resistido por los aseguradores, como se expondrá en los capítulos respectivos.

Nuevamente, es uno de los vacíos y contradicciones que se examinan en el capítulo que sigue a continuación.

5. Identificación de los Puntos Críticos, y actuales vacíos y contradicciones de la legislación nacional en materia de responsabilidad civil nuclear

Los vacíos y contradicciones analizados resultan del examen comparado de las Convenciones Internacionales y de los derechos comparados seleccionados, con el derecho nacional vigente, y/o entre las normas del derecho común de la responsabilidad civil nacional y las reglas específicas relativas a la responsabilidad nuclear también previstas en el derecho nacional.

En los informes de avances N°1 y N°2 se habían analizado tanto las legislaciones comparadas, como la nacional, y los estatutos establecidos por los Convenios internacionales siguiendo un esquema dividido en 6 puntos: a) La noción de accidente nuclear; b) La noción de daño nuclear; c) La noción de responsable; d) Las exoneraciones; e) Los límites de responsabilidad; y f) La prescripción.

Estos temas, por ciertos no fueron elegidos arbitrariamente. Son los puntos neurálgicos de todo sistema de responsabilidad, en los que ésta se estructura. En tanto, es natural que estos mismos temas hayan sido identificados como **puntos críticos** y, en el informe de avance N°2, como los **vacíos** y **contradicciones** de la legislación nacional.

En tanto, el examen de estos puntos críticos, vacíos y contradicciones, se divide en los mismos temas ya tratados tanto en el análisis de los Convenios Internacionales, de los sistemas de derecho comparado, como en la legislación nacional, a los que se les ha agregado dos: la causalidad, y la responsabilidad del Estado. En efecto, al analizar la legislación nacional, pareció pertinente, atendido el estatuto vigente, aclarar estos puntos adicionales destinándoles un apartado a los mismos.

En consecuencia, examinaremos: **(5.1)** La noción de accidente nuclear; **(5.2.)** La noción de daños nucleares; **(5.3.)** La causalidad (extensión de los daños); **(5.4.)** La definición de responsables; **(5.5.)** Las eximentes de responsabilidad; **(5.6.)** El posible rol de la responsabilidad del Estado; y, **(5.7.)** La prescripción.

Para cada una de esas secciones, se efectuará una breve remisión a lo previsto en los Convenios Internacionales y en la experiencia comparada seleccionada –evitando toda repetición innecesaria-, para luego abocarse a la explicación de los vacíos y contradicciones y adelantar formas o alternativas de abordarlos en el derecho interno.

5.1. Noción de accidente nuclear

Por accidente nuclear ya sabemos que se entiende en el derecho nacional cualquier hecho o sucesión de hechos que tengan el mismo origen y que hayan causado daños nucleares.

Tal definición presenta diferencias con lo que prescriben, en la actualidad, los Tratados Internacionales, y presenta otros vacíos y contradicciones que es necesario analizar.

Para analizar estos vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en las secciones anteriores, a lo siguiente: **(5.1.1.)** La noción de accidente nuclear en los Tratados, con acento en las diferencias y similitudes con la legislación nacional; **(5.1.2.)** La noción de accidente nuclear en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y similitudes con la legislación nacional; **(5.1.3.)** La clasificación internacional de accidentes nucleares; **(5.1.4.)** Otros instrumentos internacionales relevantes en materia de incidente nuclear; y, **(5.1.5.)** Los vacíos y contradicciones detectados.

5.1.1. La noción de accidente nuclear en los Tratados, con acento en las diferencias y similitudes con la legislación nacional

Como se expuso con anterioridad, los instrumentos internacionales que abordan esta materia son el Convenio de París y la Convención de Viena. En efecto, ambos instrumentos en sus versiones enmendadas, adoptan una definición base, prácticamente idéntica, de accidente nuclear, reconociendo como tal todo hecho o sucesión de hechos que tengan el mismo origen y hayan causado daños nucleares.

Por su parte, el sistema chileno, como se ha indicado previamente en este informe, recoge prácticamente el concepto de accidente nuclear contenido en tales tratados internacionales. En efecto, el texto nacional es semejante en su redacción a las formulaciones contenidas tanto en el Convenio de París, así como en la Convención de Viena.

Sin embargo, debe tenerse presente que la segunda oración de la definición de accidente nuclear contenida en la Convención de Viena, en su versión enmendada por el respectivo Protocolo, bajo este concepto trata también aspectos referidos a las "medidas preventivas", que no forma parte de la legislación nacional en la materia, como ya se ha expuesto[267].

Este es sin duda un aspecto relevante en las diferencias de la normativa nacional y la internacional, cuya incorporación al derecho nacional merece ser analizada en el apartado final de este subtítulo. Ahí se apreciará si es pertinente incorporar estas medidas preventivas y, en caso afirmativo, si es necesario efectuar ajustes en su redacción para precisar su alcance.

5.1.2. La noción de accidente nuclear en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y similitudes con la legislación nacional

Sin perjuicio de las evidentes similitudes de los instrumentos internacionales con la legislación nacional, resulta pertinente revisar las semejanzas y divergencias que los sistemas vigentes en algunas legislaciones de derecho comparado escogidas presentan respecto a la legislación nacional. De esta forma, se puede efectuar una mejor valoración crítica del estado actual del derecho vigente y sus posibles mejoras y transformaciones.

[267] Artículo 1 n). "Por medidas preventivas se entenderá cualquier medida razonable adoptada por cualquier persona después de ocurrido un incidente nuclear a fin de prevenir o minimizar los daños a que se hace referencia en los apartados i) a v) o vii) del párrafo k), lo que estará sujeto a la aprobación de las autoridades competentes exigida por la ley del Estado donde se hayan adoptado las medidas".

En primer lugar, debe tenerse presente que el sistema de los EEUU define como incidente nuclear a "*todo evento, inclusive un evento nuclear extraordinario*, dentro o fuera de los Estados Unidos, los daños corporales, enfermedad o muerte, o pérdida o daño a la propiedad, o pérdida de uso de una propiedad, *causado por o resultado de las propiedades radioactivas, tóxicas, explosivas o de cualquier otra propiedad eventual de materiales nucleares especiales o subproducto nuclear.*"[268]

Esta definición incorpora tanto elementos del daño como elementos del accidente, en cuanto se refiere por una parte a las víctimas u objetos del resultado dañoso y, por la otra, a las fuentes de esos posibles resultados, y por ello parecerá no resultar pertinente y conducir a confusiones.

Por su parte, la legislación japonesa no contempla el concepto de accidente, en atención a que lo relevante en tal derecho es la definición y ocurrencia de un daño. Esta particularidad de la normativa japonesa resulta curiosa desde un punto de vista teórico. Sin embargo, en la práctica no pareciera que pueda tener mayores consecuencias sobre la procedencia de responsabilidad, atendida la amplitud con que es tratado el daño. Nuevamente esta experiencia en la materia no resulta pertinente para el caso chileno.

Por último, en lo referente a la legislación francesa, tampoco contiene una definición de accidente nuclear. En efecto, la Ley Nº 68-943 se limita a regular aquellos aspectos que el Convenio de París ha dejado a la iniciativa de los países partes, no siendo necesario en este caso proveer una definición de accidente, puesto que se remite a la existente en la referida Convención.

5.1.3. La clasificación internacional de accidentes nucleares

Si bien la experiencia de derechos positivos comparados no parece ser demasiado útil en la materia, sí pueden serlo ciertas clasificaciones de los accidentes nucleares provenientes de organizaciones internacionales.

Efectivamente, tanto la OIEA como la Agencia Nuclear de la OECD han desarrollado en conjunto un sistema de clasificación de los eventos que pueden ocurrir en las plantas nucleares.

Como se ha insistido, tales escalas no tienen efectos directos en materia de responsabilidad civil, sino que su finalidad es facilitar la comunicación entre países respecto de la magnitud de un accidente o incidente nuclear, en caso de producirse uno, con el objeto de tomar medidas paliativas o de mitigación de manera oportuna.

[268] La cursiva es nuestra.

La Escala Internacional de Eventos Nucleares[269] (INES, por su sigla en inglés), clasifica los eventos en 7 niveles, de menor a mayor, y está diseñada de manera que la magnitud de un evento es diez veces superior en cada nivel de la escala.

Los tres primeros niveles corresponden a "incidentes" y los niveles 4 a 7 a "accidentes". Además, los eventos que no comprometen la seguridad de la instalación son denominados "desviaciones", y están por debajo de la escala, en el nivel 0.

Es importante señalar que la escala INES establece tres categorías de ámbitos de impacto, en los que pueden verificarse los efectos del accidente nuclear.

De este modo, cada uno de los niveles de gravedad del evento nuclear presenta diversos matices dependiendo de sus manifestaciones en alguna de las tres categorías de los "ámbitos de impacto" o "campos de impacto". Las tres categorías son: **(i)** El primer ámbito, denominado defensa en profundidad (*Defence-in-Depth*), mayoritariamente se refiere a fallas técnicas en las medidas de seguridad destinadas a evitar la ocurrencia de incidentes en instalaciones de energía nuclear; **(ii)** El segundo ámbito, denominado barreras radiológicas y de control, se refiere a la producción de consecuencias que afectan a las instalaciones en el emplazamiento en el que se produce el incidente o accidente; y, **(iii)** El último ámbito de impacto se refiere a la afectación de personas y el medio ambiente, siendo éste el único parámetro relevante para la clasificación de eventos, en los dos niveles más graves (6 y 7).

Los fenómenos que caracterizan cada uno de los niveles de eventos utilizados por la escala INES, son los siguientes:

Nivel 7. Accidente mayor. Se trata en este caso de una liberación mayor de material radioactivo con amplios efectos en la salud y el medioambiente, requiriéndose la implementación de planes y todo tipo de contramedidas. El accidente de Chernóbil es el único ejemplo de un evento de nivel 7.

Nivel 6. Accidente grave. En este tipo de accidente existe una liberación significativa de material radioactivo fuera del emplazamiento. Por tanto, es posible que se requiera de la aplicación de todas las contramedidas previstas.

Nivel 5. Accidente con amplias consecuencias. En el campo del impacto a las personas y al medioambiente, existe una liberación limitada de material radiactivo fuera del emplazamiento, siendo posible que se requiera de algunas contramedidas. En este nivel ocurren diversas muertes a consecuencia de la radiación. En el ámbito de

[269] http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf (Última visita: 26.12.09).

impacto de las barreras radiológicas y de control, existen diversos daños al núcleo del reactor. Se liberan grandes cantidades de material radioactivo dentro de la instalación con una alta probabilidad de una exposición significativa del público. Esto puede originarse en un accidente crítico mayor o producto de la acción del fuego.

Nivel 4. Accidente con consecuencias locales. En el campo de impacto a las personas y al medioambiente, genera una liberación menor de material radiactivo, siendo probable que las contramedidas necesarias se limiten a control local. Al menos provoca una muerte por radiación. En cuanto al ámbito de las barreras radiológicas y de control, existe fundición del combustible o daño al combustible que deriva en más de un 0,1% de liberación del inventario del núcleo. Hay liberación de cantidades significativas de material radioactivo dentro de la instalación, con altas probabilidades de una exposición significativas del público.

Nivel 3. Incidente grave. En el campo de impacto a las personas y al medioambiente, en este nivel los trabajadores se ven expuestos a niveles de radiación diez veces mayores a los permitidos anualmente. Se observan efectos agudos sobre la salud, pero sin consecuencias mortales, por ejemplo quemaduras. En cuanto a las barreras radiológicas y de control, se presentan niveles de exposición en el área de operación mayores a 1 Sv/h. Existe contaminación severa en un área de la instalación, no diseñada al efecto, con una baja probabilidad de exposición significativa del público. En el ámbito de la defensa en profundidad, se trata de la producción de accidentes cercanos a una instalación nuclear, sin restantes medidas de seguridad. De la pérdida o sustracción de una fuente altamente radioactiva sellada o de la entrega equivocada de una fuente altamente radioactiva sellada, sin procedimientos adecuados para su manejo.

Nivel 2. Incidente. En el campo de impacto a las personas y al medioambiente, en el nivel 2 se presenta la exposición de un tercero mayor a 10 mSv o la exposición de un trabajador, en cantidades superiores a los límites anualmente fijados. En cuanto a las barreras radiológicas y de control, se trata de los casos en que los niveles de radiación en las áreas de operación exceden 50 mSv/h o que existe una contaminación significativa al interior de la instalación en un área no esperada, de acuerdo al diseño de la misma. En el ámbito de la defensas en profundidad, se producen fallas significativas en las medidas de seguridad, pero sin consecuencias actuales. Puede también tratarse del hallazgo de una fuente altamente radioactiva sellada, o un dispositivo o embalaje de transporte, abandonado, con sus medidas de seguridad intactas o bien del embalaje inadecuado de una fuente altamente radioactiva sellada.

Nivel 1. Anomalía. En este nivel se trata sólo de consecuencias en el ámbito de impacto de las defensas en profundidad, como la sobreexposición de una persona del público más allá de los límites fijados anualmente. Surgen problemas menores con la

seguridad de componentes, pero existiendo significativos elementos de defensa en profundidad. Pérdida o sustracción de una fuente radioactiva de baja actividad, de un dispositivo o de un embalaje de transporte.

Nivel 0. Suceso debajo de la escala. Este tipo de incidente es considerado como una desviación en el funcionamiento de las medidas de defensa en profundidad de la instalación, sin embargo la seguridad de ésta no se ve afectada.

Es importante insistir que esta escala no tiene incidencia de ningún tipo sobre la extensión de la responsabilidad que recae sobre el explotador. En efecto, según las reglas descritas, el explotador o el transportador es responsable de todo daño provocado en las condiciones descritas, no importando su magnitud. La única condición, y en sí mismo es el umbral, es que se produzca algún daño nuclear.

Incluso, y por otra parte, la utilización de esta escala procede en caso de verificarse accidentes nucleares no imputables al explotador, como por ejemplo cuando ocurren por guerra civil o insurrección, que constituye causales de exoneración de su responsabilidad.

Esto se debe, como ya señalamos, a que su único objeto es permitir la notificación de información en caso de accidentes, y facilitar el conocimiento de los medios de comunicación y la población de su magnitud, y no cumplir un rol restrictivo del ámbito jurídico de responsabilidad. No se trata de un instrumento normativo -en el sentido en que se abordan en este informe las Convenciones Internacionales en materia nuclear-, sino más bien de un protocolo de comunicación común, de manera tal que la comprensión del fenómeno nuclear obedezca a una terminología estándar a nivel internacional.

No obstante, la escala tiene una relevancia, en atención, particularmente, a la fuerza expansiva de estos daños y a la circunstancia de los que los accidentes graves exceden usualmente las fronteras de un Estado, como ya se ha mencionado tantas veces.
En tal sentido, puede tener un impacto en la adopción de medidas paliativas que impidan la expansión y multiplicación de los daños, por ejemplo, disponiendo una rápida evacuación de poblaciones aledañas.

Por su parte, el derecho nacional vigente no contiene referencia a escala alguna de esta naturaleza. Sin embargo, su uso común a nivel internacional, hace recomendable la adopción o la utilización de la escala de INES.

Sin perjuicio de lo anterior, se plantea también la cuestión de determinar si los costos de implementación de medidas preventivas o paliativas se encuentran o no comprendidos entre los daños reparables, materia que será tratada a propósito

precisamente de los vacíos y contradicciones presentes respecto de esta condición de la responsabilidad civil.

5.1.4. Otros instrumentos internacionales relevantes en materia de accidente nuclear

En este punto debemos volver sobre un aspecto mencionado más arriba, a propósito del derecho vigente en Chile.

Efectivamente, de manera adicional a las Convenciones Internacionales sobre responsabilidad civil nuclear, existen otros instrumentos internacionales relativos a aspectos procedimentales en materia de accidentes nucleares, que es necesario abordar.

Aún cuando estos instrumentos no modifiquen en modo alguno el concepto de accidente nuclear, ni el estatuto de la responsabilidad civil nuclear, las reglas contenidas en ellos determinan la forma en que deben proceder los países en caso de ocurrencia de uno de estos accidentes.

Se destaca que, según lo expuesto más arriba, los instrumentos que a continuación de indicarán, se encuentran vigentes en el ordenamiento jurídico chileno.

En primer lugar, cabe hacer referencia a la *Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares* (1986), promulgada por Decreto N°381 del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado el 25 de abril de 2006.

Este instrumento establece un procedimiento de notificación e información a utilizar en caso de producirse un "*accidente relacionado con instalaciones o actividades de un Estado Parte que ocasione, o sea probable que ocasione, una liberación de material radioactivo, y que haya resultado, o pueda resultar, en una liberación transfronteriza internacional que pueda tener importancia desde el punto de vista de la seguridad radiológica para otro Estado*" (art. 1°).

Las reglas contenidas en este instrumento determinan la forma en que debe ser comunicado un accidente nuclear y la información que debe ser provista por el Estado parte del Convenio, en el que se produzca el accidente.

En su artículo segundo, establece que se debe notificar de inmediato, directamente o por conducto del Organismo Internacional de Energía Atómica, a aquellos Estados que se vean o puedan verse afectados. Lo comunicado atiende a diversos aspectos de las implicancias del accidente nuclear, a saber, su naturaleza, el momento en que se produjo y el lugar exacto, cuando proceda. Además, agrega que debe suministrase la

información pertinente disponible con miras a reducir las consecuencias radiológicas en esos Estados.

Por su parte, el artículo 5° indica, en forma más detallada, que debe entenderse por información pertinente, que en síntesis constituye lo siguiente:

- Causa supuesta o determinada y la evolución previsible del accidente nuclear en cuanto a la liberación transfronteriza de los materiales radiactivos.

- Características generales de la liberación radiactiva, incluidas, en la medida en que sea posible y apropiado, la naturaleza, la forma física y química probable y la cantidad, composición y altura efectiva de la liberación radioactiva.

- Información sobre las condiciones meteorológicas e hidrológicas actuales y previstas, necesarias para pronosticar la liberación transfronteriza de los materiales radiactivos.

- Resultados de la vigilancia ambiental pertinentes en relación con la liberación transfronteriza de los materiales radiactivos.

- Medidas de protección adoptadas o planificadas fuera del emplazamiento.

- Comportamiento previsto, en el tiempo, de la liberación radiactiva.

El segundo instrumento se denomina *Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica* (1986), promulgado por Decreto N°8 del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado el 12 de abril de 2005.

Esta Convención regula, por una parte, los mecanismos de asistencia en caso de un evento nuclear, determinando la forma en que la solicitud de asistencia ha de realizarse, y, por otra, los posibles destinatarios del mismo, a saber, cualquier Estado parte (en la medida de su capacidad) o el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Asimismo, en este instrumento se fijan las obligaciones de los Estados parte, en cuanto a informar a la OIEA acerca de los recursos materiales y personales con los que cuenta para la prestación de asistencia.

Entre otros aspectos, se norman también los deberes de información asociados a la solicitud de prestación de asistencia, los deberes de los destinatarios de la solicitud de asistencia y la forma en que se dirige y coordina la misma.

De la misma forma, establece la posibilidad de realizar la asistencia con o sin reembolso de los gastos en que el Estado que la presta incurre, y determina un régimen amplio de exención de responsabilidad para el Estado que presta asistencia, por hechos vinculados a las labores realizadas en el marco de la misma. Tales exenciones no se refieren a la responsabilidad civil nuclear, sino a los daños que pueden provocar la propia labor de asistencia y no el accidente nuclear en sí mismo.

Como resulta evidente luego de esta exposición, estos instrumentos no definen de manera distinta el concepto de accidente nuclear, sino que constituyen normativas que flanquean los eventos nucleares, disponiendo la forma en que se realiza la notificación y la cooperación internacional en la materia. Sin embargo, como ya se ha indicado, a pesar de su carácter eminentemente procedimental y accesorio, no pueden omitirse al momento de realizar una revisión exhaustiva de las cuestiones relevantes vinculadas al concepto de accidente nuclear en el derecho nacional vigente.

5.1.5. Los vacíos y contradicciones detectados en materia de definición de accidente nuclear

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

(i) El primer punto a mencionar viene dado por la discrepancia existente entre la legislación nacional y la normativa internacional en materia de definición de accidente nuclear en lo que respecta a la referencia a las "**medidas preventivas**".

Como se ha indicado previamente, esta diferencia radica en la inclusión de las medidas preventivas, que se contempla en la Convención de Viena, modificada por el correspondiente Protocolo, pero que no se contiene en la definición nacional. A pesar de que la enmienda a esa Convención no ha sido ratificada por Chile, es necesario pronunciarse sobre una eventual adaptación de nuestro derecho al estado actual de los instrumentos internacionales, como ya se ha mencionado en otra parte de este Informe.

La terminología utilizada en dicho instrumento puede resultar algo confusa, pues las medidas preventivas allí mencionadas no se entiende claramente cuáles serían. En efecto, si se reconstruye la definición de la Convención de Viena enmendada, debemos señalar que este instrumento también considera "accidente nuclear" todo hecho o sucesión de hechos que tengan un mismo origen y que, sólo en lo que concierne a las medidas preventivas, cree una amenaza grave o inminente de daño nuclear.

Tal como se ha adelantado, estas "medidas preventivas" en la definición de accidente nuclear pueden ser interpretadas de dos formas distintas:

a) En primer lugar, puede interpretarse, como se hizo en la sección (2.) de este informe, de que se trata del costo de las medidas de prevención de expansión o de mitigación de un daño nuclear ya provocado y en desarrollo.

b) En segundo lugar, también puede interpretarse que esta nueva frase agregada a la noción de accidente nuclear debe entenderse en consonancia con la nueva definición de daño aportada por la misma enmienda a esa Convención, y en tal sentido considerar que constituye un accidente nuclear y que amerita reparación, el costo de las medidas preventivas, antes de la generación de un daño, cuando ellas se justifican por la amenaza grave e inminente de producción de un perjuicio de esa naturaleza.

Ambas interpretaciones no son excluyentes, y puede considerarse que son medidas preventivas las que evitan un daño que amenaza con producirse y las que evitan su agravación una vez generado.

Pero sea cual sea la interpretación, de adaptarse el derecho nacional en la materia, introduciendo la mención a las "medidas preventivas", ello tendrá repercusiones en dos órdenes de materias: en la extensión de la reparación y en la cobertura de los riesgos.

En cuanto a la extensión de la reparación, es claro que al considerar las amenazas de daños y las medidas previstas para paliarlos, surge la pregunta respecto de quién asumirá el costo de tales medidas: ¿las potenciales víctimas?, ¿El Estado donde se producen y que invierte en ellas? o ¿los aseguradores privados?

La respuesta a esta pregunta viene también dada por la Convención de Viena enmendada la que, como ya se ha adelantado y se tratará en detalle más adelante, incluye expresamente las medidas preventivas en las categorías de daño nuclear que deben ser reparados por el explotador.

Si tal es la respuesta -y esta es la segunda cuestión-, entonces al modificar la noción de accidente nuclear y, consecuencialmente, la noción de daño según lo dicho, debemos tener presente que tales medidas deberían ser asumidas por los seguros privados de responsabilidad civil nuclear.

Ahora bien, los aseguradores son en general reacios a asumir el pago de estas medidas preventivas, pues en general sus costos son simplemente incontrolables e imprevisibles (piénsese en la erradicación de toda una ciudad como medida preventiva o en la limpieza de millares de hectáreas agrícolas para evitar contaminación de los futuros cultivos).

De todas formas, dado su elevado costo, esta cuestión conduce también a la pregunta

sobre la prioridad que se asignará a los daños a reparar con los seguros, en el sentido que si es conveniente indemnizar a las víctimas de los daños corporales y luego, si restan fondos, a los Estados, organismos o particulares que han invertido en tales medidas preventivas.

(ii) El segundo punto a analizar en materia de accidente nuclear consiste en la necesidad o pertinencia de explicitar en el derecho interno una **escala de accidentes nucleares**, con el objeto de facilitar la información y adopción oportuna de las medidas paliativas a que se hizo mención.

Pese a que la escala INES tiene algunos defectos en su alcance, al excluir por ejemplo todo riesgo, como los químicos, vinculados a un incidente nuclear, pues la escala sólo pone atención en eventos que impliquen la radiación, este modelo dada su validez internacional es el más recomendable.

5.2. Noción de daños nucleares

En la sección respectiva de este informe, se destacó que el derecho nacional vigente contiene un concepto de daño nuclear restrictivo y ambiguo. Ello en oposición a los convenios internacionales que, en su redacción actual, contienen un amplio catálogo de daños reparables. Lo mismo ocurre en general con los sistemas comparados analizados.

Para analizar estos vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en las secciones anteriores, a lo siguiente: **(5.2.1.)** La noción de daño en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.2.2.)** La noción de daño en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(5.2.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados.

5.2.1. La noción de daño nuclear en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Tal como se ha expuesto, en materia de definición de daños nucleares, tanto la Convención de Viena como el Convenio de París han sufrido una considerable evolución.

El Convenio de París, derechamente, no tenía definición específica de daño nuclear. Por su parte, la Convención de Viena tenía una definición más bien escueta, que dejaba un amplio especio a libre interpretación por parte de los Estados adherentes[270].

[270] En su artículo I, letra k) señalaba: “Por "daños nucleares" se entenderá: i) la pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales y los daños y perjuicios materiales que se produzcan como resultado

Es pertinente recordar en este punto el por qué esta definición evolucionó en esos instrumentos hacia una más amplia y comprensiva, pues ello contribuye a la comprensión de los vacíos y contradicciones que se detectan en la materia en el derecho vigente.

Producto de las carencias de las definiciones de los Convenios, y en vista de la disparidad entre las legislaciones nacionales sobre el concepto de daño proveniente de sus respectivas legislaciones civiles supletorias, el accidente de Chernóbil dejó en evidencia la necesidad de contar con una definición más precisa y amplia.

El grupo de la Convención de Viena fue el primero en hacerse cargo de este problema[271]. Como se indicó, la nueva definición de daño nuclear que adopta describe categorías más precisas, pero a la vez deja abierta la posibilidad de incluir otros tipos de daños que no hayan sido enumerados, cuestión que es una originalidad de la Convención de Viena no recogida en la enmienda del Convenio París. En efecto, la última parte de la nueva definición de daño nuclear, es una cláusula abierta a

---

directo o indirecto de las propiedades radiactivas o de su combinación con las propiedades tóxicas, explosivas u otras propiedades peligrosas de los combustibles nucleares o de los productos o desechos radiactivos que se encuentren en una instalación nuclear, o de las sustancias nucleares que procedan de ella, se originen en ella o se envíen a ella; ii) los demás daños y perjuicios que se produzcan u originen de esta manera en cuanto así lo disponga la legislación del tribunal competente; iii) si así lo dispone la legislación del Estado de la instalación, la pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales y los daños y perjuicios materiales que se produzcan como resultado directo o indirecto de otras radiaciones ionizantes que emanen de cualquier otra fuente de radiaciones que se encuentre dentro de una instalación nuclear."

[271] En su Protocolo de enmienda de 1997, la Convención de Viena cambia su definición, y califica como daños los siguientes: Muerte o daño físico a las persona; Pérdida o daño de los bienes; y cada uno de los daños que se indican a continuación en la medida determinada por la legislación del tribunal competente: Toda **pérdida económica que se derive de un daño incluido en los apartados 1 y 2 anteriores**, siempre que no esté comprendida en dichos apartados, si dicha pérdida ha sido sufrida por una persona que legalmente está facultada para demandar la reparación de los daños citados; El **coste de las medidas de restauración del medio ambiente degradado** excepto si dicha degradación es insignificante, si tales medidas han sido efectivamente adoptadas o deban serlo y en tanto dicho coste no esté incluido en el apartado 2 anterior; El **lucro cesante directamente relacionado con un uso o disfrute del medio ambiente** que resulte de una degradación significativa del mismo siempre que no esté incluido en el apartado 2 anterior; **El coste de las medidas preventivas y cualquier pérdida o daño causado por tales medidas,** tratándose de la radiaciones ionizantes emitidas por une fuente de radiaciones que se encuentre en el interior de una instalación nuclear; o emitidas por combustibles nucleares o productos o desechos radioactivos que se encuentren en una instalación nuclear o por sustancias nucleares que procedan, se originen o se envíen a una instalación nuclear, tanto si la pérdida o daño haya sido causado por las propiedades radioactivas de estas sustancias o por una combinación de dichas propiedades con las propiedades tóxicas, explosivas o peligrosas de estas sustancias; **cualquier otra pérdida económica** que no sea una pérdida causada por el deterioro del medio ambiente, si ello estuviese autorizado por la legislación general sobre responsabilidad civil del tribunal competente.

cualquier otra categoría de pérdida económica reconocida por los derechos internos. Esta disposición - también se mencionó – ha sido particularmente criticada por los aseguradores, que consideran que es una cláusula del tipo *"catch-all"*, que puede permitir a los Estados abordar daños nuevos no definidos por esa Convención, lo que generaría para ellos incertidumbres.

Por su parte el Grupo del Convenio de París inicio su trabajo de enmienda en el mismo año 1997 y se inspiró principalmente en la nueva terminología de la Convención de Viena[272]. La nueva definición de daño en este Convenio enmendado es prácticamente la misma que la del Convenio de Viena, con la excepción de la clausula "*catch all*".

Por su parte, la Ley de Seguridad Nuclear, contiene una definición de daño, que ya ha sido analizada en la sección (4.) de este informe y que podemos concluir que no recoge todas las categorías de daños mencionadas en las actuales redacciones de esos convenios internacionales.

Por otro lado, como también se mencionó, el derecho civil supletorio, la legislación especial nacional y la jurisprudencia sí reconocen algunos conceptos recogidos por esas definiciones internacionales. En particular, el lucro cesante, y la reparación del medio ambiente.

No obstante, su tratamiento no es sistemático ni uniforme, y su transposición al régimen especial de responsabilidad nuclear no es evidente.

En efecto, tratándose de la definición de daño ambiental, al ser un régimen de responsabilidad especial, no resulta supletoriamente aplicable al régimen de

[272] La definición del Protocolo de Enmienda del Convenio de París, del año 2004, dispone lo siguiente: "Daño nuclear" significa: *1*. Muerte o daño físico a las personas; *2*. Pérdida o daño de los bienes; y cada una de las siguientes categorías de daños en la medida que determine la legislación del Tribunal competente, *3*. Toda pérdida económica que se derive de un daño incluido en los apartados *1* y *2* anteriores, siempre que no esté comprendida en dichos apartados, si dicha pérdida ha sido sufrida por una persona que legalmente esté facultada para demandar la reparación de los daños citados; *4*. El coste de las medidas de restauración del medio ambiente degradado, excepto si dicha degradación es insignificante, si tales medidas han sido efectivamente adoptadas o deban serlo y en tanto dicho coste no esté incluido en el apartado *2* anterior; *5*. El lucro cesante directamente relacionado con un uso o disfrute del medio ambiente que resulte de una degradación significativa del mismo, siempre que no esté incluido en el apartado 2 anterior; *6*. El coste de las medidas preventivas y cualquier pérdida o daño causado por tales medidas, tratándose de los apartados *1* a *5* anteriores, en la medida en que la pérdida o daño se derive o resulte de radiaciones ionizantes emitidas por una fuente de radiaciones que se encuentre en el interior de una instalación nuclear; o emitidas por combustibles nucleares o productos o desechos radiactivos que se encuentren en una instalación nuclear o por sustancias nucleares que procedan, se originen o se envíen a una instalación nuclear, tanto si la pérdida o daño haya sido causada por las propiedades radiactivas de estas sustancias o por una combinación de dichas propiedades con las propiedades tóxicas, explosivas o peligrosas de estas sustancias.

responsabilidad civil nuclear, como ya se expuso, por cuanto este régimen tienen aplicación preferente por sobre los otros.

El derecho civil supletorio, por su parte, que sí le resulta aplicable, carece de definiciones precisas, y sus reglas principales derivan de desarrollos jurisprudenciales bastante laxos e imprecisos.

Sin embargo, como hemos destacado, nuestro país es parte del Convenio de Viena de 1963. No obstante, Chile no ha ratificado el Protocolo de Enmienda de 1997. En vista de lo anterior, en la actualidad, en principio, podríamos mantener una definición de daño escueta e incompleta, sin incumplir los compromisos internacionales, y sin violentar el orden internacional en la materia.

Pero, como también se ha señalado, la firma y ratificación del Protocolo de Enmienda del 1997 parece un paso necesario para nuestro país, por lo que parece pertinente evaluar la definición de daño nuclear de nuestra legislación a la luz de la definición contenida en su versión enmendada el año 1997.

Finalmente, en otro orden de cuestiones vinculadas al daño nuclear reparable, es necesario hacer presente dos cuestiones.

La primera es que algunos instrumentos internacionales, como se mencionará, establecen una cierta prioridad entre los daños que deben indemnizarse (prefiriendo la indemnización de los daños corporales), aunque tal preferencia opera sólo cuando los límites de responsabilidad se sobrepasan o están prontos a sobrepasarse. En la materia, en el derecho vigente sólo existe una regla de evaluación de ciertos tipos de daños, pero que no establece una prioridad entre los distintos tipos de daños extrapatrimoniales y patrimoniales, y entre éstos y los daños al medio ambiente.

La segunda es que tampoco las Convenciones Internacionales abordan de manera categórica la posibilidad de que las víctimas acudan al derecho civil común para indemnizar daños que no quedaron cubiertos por los límites de responsabilidad civil nuclear. De hecho, algunos países, como Alemania, son partes del Convenio de París y sin embargo desde la década de los 80 adoptaron un derecho interno de responsabilidad ilimitada, aunque existen serias dudas de que tal decisión sea compatible con el espíritu de ese instrumento internacional.

Efectivamente, es cierto que la intención de estos instrumentos es en gran medida limitar la responsabilidad del explotador para hacer viable la industria de generación eléctrica nuclear, a cambio de coberturas obligatorias que garantizan una indemnización rápida, aunque limitada, a las víctimas.

Por su parte, el derecho vigente sobre la materia en Chile parece responder al mismo espíritu (impedir la reparación de daños por sobre el límite fijado), y sólo abre la posibilidad de recurrir en la materia al derecho civil supletorio para perseguir la conducta negligente o dolosa de terceros (no del explotador) en la comisión de estos daños (arts. 52 y 59 Ley de Seguridad Nuclear).

Es más, existe una cierta contradicción entre estos artículos, pues el primero declara responsable al tercero que comete actos vandálicos respecto de sustancias nucleares (robo, por ejemplo), que será responsable según el estatuto civil supletorio, junto con el explotador que responde de acuerdo al régimen de responsabilidad civil nuclear. En cambio, la segunda disposición, establece que sólo responde el tercero por actos dolosos (entre los cuales podemos contar también el robo), y conforme a las reglas de derecho civil supletorio, cuando de ello no se derive responsabilidad civil nuclear para el explotador. En el primer caso la responsabilidad del tercero es concurrente con la del explotador, en el segundo caso es sólo subsidiaria a la responsabilidad del explotador.

5.2.2. La noción de daño nuclear en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

En las legislaciones comparadas seleccionadas, existen incluso definiciones mucho más ambiguas que la definición chilena.

Por ejemplo, el artículo 2.2 de la Ley de Compensación japonesa dispone que debe entenderse como daño nuclear, todo daño causado por el proceso de fisión de material combustible nuclear, los efectos de radiación por material combustible nuclear o material contaminado por material combustible nuclear, y la naturaleza tóxica de dichos materiales. Esto pareciera decir que entran en esta definición todo tipo de daño sin limitación alguna.

Por su parte, la legislación estadounidense –ya se dijo- incluye la definición de daño nuclear en la definición de accidente nuclear, como lo hacía antes el Convenio de París. Así, considera como daño nuclear "*daño corporal, enfermedad, dolencia o muerte, o perdida o daño a la propiedad, provocado o resultante de las propiedades radiactivas, toxicas, explosivas, u otras propiedades peligrosas de fuentes, productos o subproductos nucleares*".

La legislación francesa reenvía directamente a las disposiciones del Convenio de París en la materia, en su estado actual y, a sus disposiciones enmendadas, una vez que el Protocolo de Enmienda de 2004 entre en vigor.

Finalmente, de la misma forma que en el subtítulo anterior, es necesario referirse a dos cuestiones adicionales sobre el daño nuclear reparable.

La primera cuestión atiende a la prioridad de indemnizar algunos daños, es preciso destacar que algunos derechos comparados, como el francés, recogen la preferencia establecida en los Convenios Internacionales hacia los daños personales, pero que sólo operan cuando se superan o se está próximo a superar los límites de responsabilidad, cuestión que no está prevista en el derecho vigente.

La segunda es que algunos sistemas comparados, como el japonés (o alemán), establecen una responsabilidad ilimitada en materia nuclear, en que las víctimas pueden demandar daños no cubiertos por los montos mínimos de las garantías obligatorias. Tal alternativa, sin duda en interés de las víctimas, depende evidentemente de variables económicas de esos países. En la materia, se expuso cuál es el estado del derecho vigente en Chile.

5.2.3. Los vacíos y contradicciones detectados en materia de daño nuclear

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

(i) El primer punto se refiere al **lucro cesante.** Las disposiciones de la Convención de Viena enmendada reconocen expresamente la indemnización del lucro cesante directamente relacionado con el uso o disfrute del medio ambiente. Además, este instrumento contiene dos disposiciones que consideran la indemnización de todo daño económico y material, en las que podríamos incluir la indemnización del lucro cesante no directamente relacionado con el medio ambiente.

Así, la definición de la Ley de Seguridad Nuclear parece presentar un vacío en la materia, tanto en lo que respecta al lucro cesante, que puede afectar a las personas naturales o jurídicas, como la privación del disfrute del medio ambiente.

(ii) El segundo punto se refiere a la indemnización de los denominados **daños puramente económicos**, esto es pérdidas de ganancias que no son consecuencia de un atentado a la integridad física o a los bienes de la víctima. Un caso que se puede presentar en materia nuclear son las oportunidades de negocio que empresas cercanas al lugar del accidente pierden, no como consecuencia de perjuicios materiales en sus instalaciones sino por el mero hecho de encontrarse relativamente cerca del lugar del accidente nuclear.

Ya vimos que la Convección de Viena enmendada introduce una definición final tan amplia de daños reparables que podrían entenderse comprendidas también estas

pérdidas puramente económicas. Por su parte, la legislación civil supletoria, al guardar silencio sobre este respecto, se puede entender que también la autoriza. En cambio, la Ley de Seguridad Nuclear no contempla la reparación de este tipo particular de daño.

(iii) El tercer punto es el costo de las **medidas de prevención**, cuestión que fue abordada, también, desde la perspectiva de la noción de accidente nuclear.

El costo de medidas de prevención de generación o de expansión de daños se refiere esencialmente a las medidas de urgencia y mitigación. Estas medidas no están comprendidas en los términos de la Ley de Seguridad Nuclear, a diferencia de lo que ocurre en la experiencia comparada. Al tratar de los accidentes nucleares, por lo demás, se expusieron las implicancias de la indemnización de este tipo particular de daño nuclear.

(iv) El cuarto punto se refiere a la reparación de los **daños ambientales.** El inciso 4. del artículo 1.k. de la Convención de Viena enmendada señala que son indemnizables: "*El coste de las medidas de restauración del medio ambiente degradado, excepto si dicha degradación es insignificante, si tales medidas han sido efectivamente adoptadas o deban serlo y en tanto dicho coste no esté incluido en el apartado 2 anterior*".

Este daño se puede confundir con la afectación de bienes materiales de un propietario particular, con la afectación a bienes comunes o públicos. Esta norma de la Convención concede la indemnización de los gastos que pudo haber significado a una persona privada o pública el restablecer el medio ambiente a su condición inicial. Por otra parte, evitando la doble indemnización, este inciso precisa que se podrá demandar la reparación de este daño siempre, cuando no haya sido incluido en la indemnización del daño material.

En la Ley de Seguridad Nuclear no existe referencia al daño ambiental en materia de responsabilidad civil nuclear. La legislación especial reconoce la responsabilidad por daños ambientales en la Ley N°19.300, pero ya se ha expuesto que no resulta aplicable al estatuto general de la responsabilidad civil nuclear.

(v) El quinto punto se refiera a la cuestión de la **prioridad de la indemnización de los daños corporales** por sobre los daños materiales.

Sobre este aspecto, en otros apartados de este informe se ha planteado la cuestión de si es necesario o no precisar si existe un orden de prioridad o prelación entre las distintas categorías de daño reparable en materia de responsabilidad civil nuclear.

Esto es, si debe preferirse la indemnización de algunos por sobre otros, particularmente considerando que existen límites máximos de responsabilidad y que, dada la magnitud de los perjuicios que puede provocar un accidente nuclear, no todas las víctimas recibirán una compensación proveniente de las coberturas obligatorias de los seguros. La cuestión también se vincula al trato preferente que tiende a darse a nivel mundial a los daños corporales en materia de reparación.

Como se adelantó, en las Convenciones Internacionales, la regla general es que se establece una prioridad vinculada a la naturaleza del daño o de las víctimas sólo cuando los montos máximos de indemnización se hayan superado o puedan llegar a serlo. Así lo dispone la Convención de Viena, que Chile la suscrito, y así también lo dispone el Convenio de París, y legislaciones amparadas como la francesa, que fue revisada en las secciones (2.) y (3.) de este informe.

Surge la pregunta, a este respecto, si sólo vale la pena priorizar entre daños cuando se sobrepasan o se está próximo a sobrepasar los límites de responsabilidad civil nuclear o si, por el contrario, conviene establecerlos como regla que se aplique antes de la indemnización de cualquier daño. Sobre todo considerando que en el caso de catástrofes masivas, las coberturas difícilmente llegan a cubrir los daños corporales de todas las víctimas.

En lo que respecta a este tema, la Ley de Seguridad Nuclear sólo establece un artículo, que ya hemos estudiado, que más que fijar una prioridad para los daños a las personas, en verdad fija montos mínimos de evaluación de determinados daños (daños a las personas y daños a las cosas) [273].

Así, es posible concluir que en el derecho vigente nacional no existe una prioridad para la indemnización de daños corporales por sobre los materiales y puramente económicos, ni tampoco una preferencia de éstos por sobre los daños al medio ambiente, o viceversa.

Sin embargo, cabe destacar nuevamente que la propia normativa internacional, en este caso en la Convención de Viena de la que Chile es parte, contiene una directa atribución de competencia sobre la cuestión de la prioridad al derecho civil interno: "*Sin perjuicio de lo dispuesto en la presente Convención, la naturaleza, forma e importancia de la indemnización, así como la distribución equitativa de la misma, se regirán por la legislación del tribunal competente*" (art. VIII).

[273] Nos referimos al artículo 61: "El pago de la indemnización estará sujeto a la siguiente regulación: 1. Los daños a las personas se indemnizarán, a lo menos, con el doble de la cantidad que correspondiere por aplicación de las tablas del seguro de Accidentes del Trabajo. 2. Los daños a las cosas, en el evento de que la cantidad límite de responsabilidad no sea suficiente, se indemnizarán a prorrata de su monto".

(vi) El último punto en la materia se refiere a la pregunta de si es posible aplicar las **normas generales del derecho civil supletorio** para la indemnización de daños que no queden cubiertos por la responsabilidad civil nuclear.

Esta cuestión es particularmente sensible y merece una explicación más detallada.

Cabe aclarar desde ya, como se adelantó, que la pregunta relevante aquí es si es posible demandar al explotador por esos daños no cubiertos por las garantías y que excedan el límite fijado para su responsabilidad, recurriendo a las reglas de la responsabilidad por negligencia o dolo. En tal caso, para reclamar esos daños, se abandonaría el estatuto particular de la responsabilidad civil nuclear (objetivo), debiendo la víctima demostrar la ocurrencia de una actuación negligente o dolosa cometida por el explotador.

Una cuestión totalmente distinta es si se desea perseguir a terceros (no al explotador), que hubiesen cometido actos dolosos o culpables sobre las sustancias nucleares del explotador o sus instalaciones. En tales casos, pareciera pacífica la solución de que es posible demandarlos sobre la base de las reglas del derecho civil supletorio. Sin embargo, sobre este punto, es necesario tener presente la contradicción que se hizo ver más arriba entre dos artículos de la Ley de Seguridad Nuclear (arts. 52 y 59).

Lo que sigue se refiere, como se entiende, a la primera cuestión, vinculada a la responsabilidad del explotador por sobre los límites de responsabilidad y sobre la base del derecho civil supletorio.

Lo que se intenta visualizar aquí es la cuestión de definir si daños, que tienen la naturaleza de nucleares, pero que no alcanzaron a ser cubiertos por las coberturas mínimas de indemnización privadas (seguros privados) y estatales (garantías públicas), que como sabemos coinciden con los límites de responsabilidad impuestos al explotador, puede ser de todas formas perseguidos respecto de éstos, utilizando las reglas del derecho civil supletorio.

La decisión de abrir tal posibilidad sin duda se inspira en un principio de protección a las víctimas. Pero un examen más acabado plantea serias objeciones sobre ese camino.

En efecto, la responsabilidad civil nuclear es un régimen especial cuya particularidad es reconocer un monto de indemnización limitado, que tiene como esencial propósito el incentivar la inversión en materia nuclear y hacer posible el seguro privado. Al mismo tiempo, y como contrapartida, las coberturas obligatorias (privadas y/o estatales), constituyen una protección a las víctimas, permitiéndoles una indemnización rápida y automática una vez que se haya acreditado el daño.

Por lo demás, tales daños difícilmente podrán ser asegurados y garantizados, y de llegar a demandarse sólo podrían ser ejecutados sobre el patrimonio del explotador, cuestión que naturalmente pondría en riesgo la continuidad de su unidad.

5.3. Causalidad (extensión de los daños)

Como ya se ha revisado en este informe, la causalidad es una condición común a la responsabilidad civil por negligencia y estricta. A pesar de no encontrarse expresamente mencionada en el Código Civil, se infiere de algunos artículos de nuestro Código Civil (arts. 1437, 2314 y 2329), y en todo caso existe como un imperativo de justicia: sólo puede hacerse responsable a alguien de las consecuencias que provienen de su acción.

En materia de responsabilidad nuclear es un punto sumamente relevante. En principio, en el derecho común de la responsabilidad civil, el agente responde sólo por los daños que son una consecuencia directa de su actuación. No obstante, como lo veremos, en materia de responsabilidad civil nuclear, algunos instrumentos internacionales han señalado que el grado de causalidad que se requiere es la directa o la indirecta. Por lo demás, la Ley de Seguridad Nuclear repite esos términos, lo que genera una serie de interrogantes que son abordadas en este subtítulo.

Ahora bien, la extensión de la reparación que se impone al explotador y, por tanto, a su asegurador, a los perjuicios indirectos puede conducir a poner en entredicho la propia cobertura, pues las consecuencias indirectas de una acción u omisión pueden extenderse ampliamente en el tiempo y en el espacio.

Para analizar estos vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en este informe, a lo siguiente: **(5.3.1.)** La noción de causalidad en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.3.2.)** La noción de causalidad en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.3.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de causalidad.

5.3.1 La noción de causalidad en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

El Convenio de París, en sus diversas redacciones, nunca ha formulado una clara alusión a la naturaleza directa o indirecta del daño como condición de la reparación. En su versión inicial, se limitaba a señalar que los daños debían resultar o provenir de las propiedades radiactivas del combustible nuclear, desechos o productos, no

existiendo ningún indicio relativo al carácter directo o indirecto del daño. En su nueva redacción (después de la enmienda), tampoco aborda la condición de la causalidad.

Las disposiciones de este instrumento se pueden interpretar de dos formas distintas.

Por una parte, atendido el silencio del Convenio en la materia, podría utilizarse el artículo 11 del mismo para interpretarlo. Este artículo dispone, esencialmente, que la naturaleza, forma y extensión de la indemnización se rigen por la legislación nacional interna. Así, podríamos concluir que se deben aplicar las disposiciones nacionales en materia de "extensión del daño", cuestión que en Chile, y en la gran mayoría de los países, apunta indiscutiblemente a una causalidad exclusivamente directa.

Por otra parte, puede otorgársele al silencio del Convenio de París el sentido precisamente inverso. En efecto, utilizando su artículo 9°, que dispone que el explotador no será responsable de los daños nucleares "directamente" causados por conflictos armados, podría darse a entender con ella que en la medida en que dicha disposición precisa la necesidad de la vinculación "directa" del conflicto armado con los daños exonerados, la regla general de ese instrumento sería considerar como suficiente una causalidad directa o indirecta.

Por su lado, la Convención de Viena en su versión original disponía que los daños deben haber sido resultado "*directo o indirecto de las propiedades radiactivas o de su combinación con las propiedades tóxicas, etc.…*". A este texto se encuentra sujeto el derecho interno nacional y, por tanto, la disposición de la Ley de Seguridad Nuclear que fue descrita parece consistente con él. Sin embargo, esta formulación fue posteriormente modificada por la enmienda de 1997, en el sentido siguiente: "*los daños y perjuicios que se produzcan como resultado de la radiación ionizante emitida por cualquier fuente de radiación*". Claramente, la naturaleza "directa o indirecta" de los daños fue una expresión que se omitió.

Como se acaba de mencionar, en el derecho vigente, las disposiciones de la Ley de Seguridad Nuclear recogen el concepto planteado por la Convención de Viena, en su primera versión, estos es, la extensión de la indemnización a los daños directos e indirectos. Ahora bien, esta regla, es necesario también tenerlo presente, entra en contradicción con los principios del derecho civil supletorio, que sólo recogen una causalidad directa en materia de responsabilidad civil extracontractual[274].

[274] La doctrina y la jurisprudencia nacional son unánimes en señalar que el daño resarcible es únicamente el daño directo. Tanto porque el carácter de "directo" está previsto en el Código Civil para la responsabilidad contractual (art. 1558) y que la jurisprudencia lo estima también aplicable a la responsabilidad extracontractual, como porque esto resulta racional y lógico. Ver, Barros, Enrique, Tratado de Responsabilidad Extracontractual, Editorial Jurídica de Chile, pp.392.

5.3.2 La noción de daño en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

De entre los tres sistemas jurídicos que hemos elegido analizar, Francia no presenta ninguna particularidad respecto a lo ya señalado, en relación al Convenio de París y la doble interpretación que es posible inferir de sus disposiciones. En efecto, el artículo 3° de la Ley N° 68-943 reenvía íntegramente a la definición de daño del Convenio de París.

Por su parte, las legislaciones norteamericana y japonesa tampoco aportan muchas precisiones sobre la extensión de los daños que se deben reparar. Como ya hemos señalado, en materia de daños, la Price Anderson Act señala que son daños nucleares aquellos "provocado por" y "resultante de" propiedades nucleares y tóxicas. A su vez, la legislación japonesa señala que son daños nucleares aquellos "causados por" el proceso de fisión de material nuclear.

Como vemos, el derecho vigente chileno aparece como una excepción en el panorama legislativo mundial, que en general omite referirse a la causalidad directa o indirecta de los daños indemnizables.

5.3.3. Los vacíos y contradicciones detectados

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

(i) El primer punto atiende a que la causalidad de la Ley de Seguridad Nuclear **no se ajusta a los términos actuales de la Convención de Viena** que, como hemos señalado, eliminó de su definición el carácter directo o indirecto de los daños.

La contradicción es evidente en la materia, y amerita un análisis de si es necesario ajustar el derecho vigente, para excluir la reparación de los perjuicios indirectos

(ii) El segundo punto se refiere a que aún cuando se llegue a la conclusión de que no es necesario o conveniente ajustar la Ley de Seguridad Nuclear a la Convención de Viena enmendada en materia de causalidad, de todas formas la indemnización de los daños indirectos es una práctica absolutamente **contraria al derecho civil común** de la gran mayoría de los países y del Código Civil chileno.

(iii) El tercer punto se vincula con la **cobertura de los daños indirectos**. En efecto, de conservarse la actual definición, se plantean serias dudas acerca de la viabilidad económica y práctica de los seguros en la materia. Los daños indirectos pueden proyectarse en el tiempo y en el espacio en una larga e interminable cadena de

consecuencias nocivas, que escapan a las predicciones necesarias para el cálculo actuarial, sobre el que funcionan los sistemas de seguros privados.

5.4. Definición de responsables

Como se indicó, la tendencia mundial es que la responsabilidad nuclear se concentre en el explotador y, sólo bajo ciertas circunstancias, en el transportista.

Así, en el derecho nacional, como se expuso, la responsabilidad recae en el explotador, y excepcionalmente en el transportista y en el manipulador de desechos nucleares, cuando ha operado entre explotador y transportista, o entre explotador y manipulador de desechos nucleares, un acuerdo escrito de transferencia de las sustancias nucleares aprobado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Para analizar estos vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en las secciones anteriores de este capítulo, a lo siguiente: **(5.4.1.)** La noción de responsable en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.4.2.)** La noción de responsable en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(5.4.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados.

5.4.1. La noción de responsable en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Como se dijo, los instrumentos internacionales tienden a concentrar la responsabilidad en el explotador, incluso durante el transporte, en el entendido que es quien mejor se encuentra en condiciones para prevenir la comisión de daños y para garantizar su reparación mediante la contratación de seguros.

La regla sufre pocas excepciones, básicamente cuando existe un acuerdo escrito entre explotador y el transportista para que éste asuma el riesgo, y cuando las sustancias nucleares son entregadas a destinatarios ubicados en países que no son parte de los convenios internacionales.

Como ya se ha señalado previamente en este informe, tanto la Convención de Viena como el Convenio de París establecen la responsabilidad exclusiva y objetiva del explotador, señalando que se entiende por explotador "*la persona designada o reconocida por el Estado de la instalación como explotador de dicha instalación*".

La responsabilidad del explotador en ambas Convenciones se extiende a lo daños ocurridos durante el transporte, salvo en cuanto exista un contrato escrito por el cual el explotador que recibe los materiales se hace responsable de estos[275].

De esta forma, los únicos casos en los cuales el explotador destinatario es responsable de los materiales transportados son: cuando ha asumido la responsabilidad civil nuclear mediante un contrato escrito celebrado con el explotador que envía los materiales; y, al momento en que el explotador destinatario se hace cargo de los materiales (recepción de los mismos).

Asimismo, se establece que el explotador deja de ser responsable de los materiales transportados, cuando encontrándose el destinatario de estos en un país no parte de los Convenios, los materiales han sido descargados efectivamente del medio de transporte en el que han llegado.

De acuerdo a lo señalado, la responsabilidad, tanto en el Convenio (la Convención de Viena como en el Comercio) de Viena como en el de París, se canaliza únicamente en la persona del explotador, entendiendo que ninguna otra persona se considera responsable por un posible accidente nuclear.

Se trata de una canalización legal y no económica, entendiendo que en esta última pueden resultar responsables otras personas distintas al explotador.

Esta canalización legal de la responsabilidad se explica por las siguientes razones[276] / [277]:

- Se justifica en el principio establecido por la OECD "quien contamina paga", aceptado como un principio de derecho internacional;

- Las victimas recurren sólo a una fuente de compensación en vez de tener que identificar diversos posibles responsables;

---

[275] "En el caso de los incidentes nucleares relativos a materiales nucleares durante su transporte, la responsabilidad se atribuye o al explotador de la instalación nuclear de la que proceden los materiales, o al explotador de la instalación nuclear a la que estos se dirigen. Dicho de otro modo, se considera responsable al explotador que envía los materiales o al que los recibe. Por contrato escrito, ambos explotadores pactan el momento del transporte en que la responsabilidad pasa de un explotador a otro. A falta de contrato, la responsabilidad se traslada del explotador que envía los materiales a aquel que los recibe cuando este último se hace cargo de ellos". OIEA, *Manual de Derecho Nuclear*, OIEA, Austria, Junio 2006, p. 127.

[276] Goedde. Patricia. "*In Search of a Civil Nuclear Liability Regime for South Korea*" *Revista Asian Perspective*, Vol. 27, Nº 1, 2003, pp. 229-230, Disponible en Internet en http://www.asianperspective.org/articles/v27n1-h.pdf

[277] OIEA, *Manual de Derecho Nuclear*, OIEA, Austria, Junio 2006, p. 122-123.

- Se incentiva al explotador a mantener altos estándares de seguridad, a fin de prevenir accidentes;

- Se evita que personas distintas al explotador tengan que, por su parte, asegurarse frente a esta clase de riesgos, permitiendo la concentración de la capacidad aseguradora.

En cuanto a la responsabilidad que pueda caberle a dos o más explotadores, ambas Convenciones, establecen responsabilidad solidaria de todos los explotadores involucrados, siempre y cuando no pueda determinarse con certeza que parte de los daños ha de atribuirse a cada uno de ellos.

A la luz de lo señalado en lo párrafos anteriores, la normativa nacional vigente en esta materia, la Ley de Seguridad Nuclear, en su artículo 50, establece como responsable de los daños ocasionados por un accidente nuclear al explotador, entendiendo que éste es la persona que en la correspondiente autorización dada por la Comisión Chilena de Energía Nuclear ha asumido la calidad de explotador.

Igualmente se establece la responsabilidad del transportista y de quien manipule desechos radiactivos, siempre que así se exprese en el acuerdo por el cual el explotador autorizado le entrega los materiales o desechos, acuerdo que previamente debe ser aprobado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Cabe así destacar que la definición de responsable en la Ley de Seguridad Nuclear, se acerca a lo señalado en la Convenciones Internacionales, salvo en cuanto hace responsable a los transportistas y manipuladores de desechos nucleares, lo que es evidente que se aleja de la tendencia internacional en esta materia, que tiende a concentrar y canalizar la responsabilidad únicamente en el explotador.

Asimismo, debe acentuarse que en nuestra legislación nacional, al igual que en las Convenciones ya analizadas, se establece la responsabilidad solidaria de los explotadores, cuando siendo responsables de los daños dos o más explotadores no es posible precisar la parte que le toca a cada uno. Esta cuestión, como se dijo, no es más que la aplicación de un principio general de solidaridad pasiva proveniente del derecho común de la responsabilidad civil.

Por otra parte, en el caso chileno, al igual que en los textos de las Convenciones, el explotador deja de ser responsable cuando el accidente nuclear se deba o haya sido causado por conflicto armado, hostilidades guerra civil o insurrección.

Por último, tanto en los Convenios como en la legislación chilena vigente, se contempla la posibilidad de que resulte responsable un tercero cuyo actuar doloso haya causado el daño nuclear, respondiendo en tal caso este tercero según las reglas generales del derecho civil supletorio.

5.4.2. La noción de responsable en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Tal como se ha expuesto, Francia ha incorporado a su legislación nacional múltiples referencias al Convenio de París, incluso reproduciendo literalmente normas contenidas en dicha Convención.

Sabemos que la normativa que rige esta materia es la Ley Nº 63-943, de 30 de octubre de 1968. Lo que esta ley interna ha venido a hacer es complementar las disposiciones del Convenio, por lo que lo analizado en el numeral anterior se aplica a Francia, en el entendido que la responsabilidad por daños nucleares es objetiva y exclusiva del explotador.

En Estados Unidos, a diferencia del régimen establecido en las Convenciones Internacionales y en la legislación francesa, la canalización de la responsabilidad es una canalización económica y no legal, por cuanto pueden resultar responsables del accidente nuclear personas distintas al explotador. Sin perjuicio de lo anterior, las compensaciones a las víctimas se canalizan en una sola fuente, siendo el licenciado o explotador el responsable de mantener un seguro que cubra y deje indemne a cualquiera que pueda resultar responsable del accidente**.**

Como se expuso, la legislación que rige la responsabilidad por daños nucleares en EEUU es la Ley Federal denominada Price-Anderson Act (PAA) y que forma parte del Energy Act. La PAA canaliza la responsabilidad al direccionar todos los reclamos o demandas que puedan surgir por la responsabilidad legal de cualquiera persona a una sola fuente de fondos. La PAA establece que la carga de mantener garantías financieras para hacer frente a posibles daños como consecuencia de accidentes nucleares recae exclusivamente en el explotador o licenciado, estableciendo como requisito fundamental para el otorgamiento de la licencia por parte de la NRC (Nuclear Regulatory Commision) que el licenciado tenga y mantenga protección financiera en los montos y por los términos que la NRC establezca.

Ahora bien, esta protección financiera obligatoria se impone para hacer frente a todos los reclamos y demandas que surjan de la denominada responsabilidad pública o *Public Liability*. Es respecto de la responsabilidad pública que deriva de accidentes nucleares donde se establece quien puede ser responsable. La PAA entiende que la responsabilidad pública es cualquier responsabilidad legal que pueda surgir de o

como resultado de un incidente nuclear o de una evacuación precautoria. Por tanto, la PAA provee de una "cobertura general" entendiendo que cualquier persona que pueda resultar responsable por la responsabilidad pública derivada de un accidente nuclear se encontrará protegida o indemne al canalizar el pago de las indemnizaciones derivadas de dichos accidentes en una sola fuente económica, esto es el licenciado, eliminando la necesidad de demandar a todos los potenciales responsables o de repartir la responsabilidad legal entre múltiples demandados.

La responsabilidad legal se determina de acuerdo a la ley del Estado en el cual se produjo el accidente, en cuanto a determinar las responsabilidades, la causalidad y los daños, siempre cuando estás no contradigan lo establecido en la PAA. Sin embargo, las normas establecidas en la PAA respecto de la obligación de mantener protección financiera, el limite en cuanto a los daños punitivos y en el caso de la ocurrencia de un evento nuclear extraordinario, la renuncia a ciertas defensas, se superponen por sobre las normas estatales.

En definitiva, quien se hace responsable de los costos para hacer frente a eventuales indemnizaciones proveniente de daños nucleares es el explotador o licenciado. Sin embargo, tal como se señaló, previamente se trata de una responsabilidad económica, por cuanto pueden resultar legalmente responsables personas distintas al explotador.

A este respecto, así lo han entendido el consorcio de aseguradoras (ANI-American Nuclear Insurers) que actualmente provee tanto la protección primaria como secundaria obligatorias que debe mantener todo explotador, incorporando esta cobertura generalizada en sus pólizas de seguros, específicamente la póliza denominada *Facility Form* (seguro que cumple con la protección primaria obligatoria), al establecer en la definición de asegurado, tanto el nombre del explotador como también toda aquella persona u organización en relación a su responsabilidad legal por daños corporales, daño a la propiedad o daño medioambiental producto de los riesgos de la energía nuclear[278].

Por su parte, en Japón se establece la responsabilidad exclusiva del operador nuclear, entendiendo por operador nuclear aquel individuo al cual se la ha otorgado una licencia de acuerdo a lo establecido en la Ley Nº 166 de 1957 para la Regulación de Material Nuclear de fuente Primaria, Material Combustible Nuclear y Reactores[279]. Para tales efectos, es obligado a mantener garantías financieras a fin de hacer frente a las compensaciones que puedan surgir de daños nucleares es el explotador, a quien según la sección 6 de la Ley de Compensación Económica le está prohibido operar sin tal garantía financiera. Esto se traduce en la contratación de un seguro de

[278] American Nuclear Insurers. *Need for Nuclear Liability Insurance*. Mayo 2009. Disponible en Internet en http://www.nuclearinsurance.com/library/Nuclear%20Liability%20in%20the%20US.pdf
[279] Law on Compensation For Nuclear Damage de 1961, secciones 2, 3 y 4.

responsabilidad civil por los montos ahí señalado. Asimismo, es el explotador de la instalación nuclear quien puede negociar *Acuerdos Indemnizatorios* con el Gobierno japonés, a fin de que este último le indemnice los gastos que excedan a la cobertura del seguro, todo conforme los términos de esa ley[280].

Comparativamente, nuestra legislación difiere de los sistemas comparados señalados anteriormente, en cuanto si bien se establece la responsabilidad del explotador de una instalación, él no es el único que puede resultar responsable por los accidentes nucleares, al establecer la responsabilidad del transportista y del manipulador de desechos nucleares.

Al no canalizar la responsabilidad en una sola persona -sea una canalización legal o económica-, el determinar quien resulta responsable por los daños es una tarea más dificultosa, pudiendo provocar así el retardo en la oportuna y eficaz reparación a las víctimas, en casos tan graves como accidentes nucleares.

Esto aleja a nuestro derecho vigente de la tendencia internacional de propender a la pronta reparación de las víctimas y del medio ambiente, en el evento de que se produzca un accidente nuclear de proporciones.

Asimismo, eso puede perjudicar los cálculos actuariales necesarios para la adecuada cobertura de los riesgos por los aseguradores.

5.4.3. Los vacíos y contradicciones detectados en materia de definición de responsables

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

(i) El primer punto atiende a si es pertinente conservar la actual **definición de persona responsable** de la Ley de Seguridad Nuclear, o si, por el contrario, conviene modificarla para concentrar la responsabilidad únicamente en el explotador por las razones expuestas.

En el derecho nacional, como se expuso, la responsabilidad recae en el explotador, y excepcionalmente en el transportista y en el manipulador de desechos nucleares, cuando ha operado entre explotador y transportista, o entre explotador y manipulador de desechos nucleares, un acuerdo escrito de transferencia de las sustancias aprobado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

[280] Ley Nº 148 de 1961 sobre Acuerdos Indemnizatorios para la Compensación de Daño Nuclear. Japón.

(ii) El segundo punto atiende a la pregunta de cómo conciliar la responsabilidad del **manipulador de desechos nucleares**, considerado "explotador" en el derecho vigente bajo las condiciones descritas, con las normas de la responsabilidad civil ambiental.

5.5. Eximentes de responsabilidad

En general, las eximentes de responsabilidad atienden a aquellas alegaciones o defensas que puede invocar el agente para descargarse de la responsabilidad que le atañe en un hecho que ha generado daño y por el que es civilmente responsable.

Ahora bien, hemos visto que en materia de daño nuclear la tendencia mundial es que la responsabilidad sea estricta u objetiva. Por ello, la culpa o actuar negligente del agente generador del daño deja de tener relevancia, pues basta sólo con constatar la existencia de un accidente nuclear que causalmente genere daños nucleares para configurar esta responsabilidad, sin entrar a discernir, reconstruir o calificar la conducta determinada del explotador o de sus dependientes.

En razón de lo anterior, las eximentes de responsabilidad que en esta materia cobran importancia son aquellas que provienen de hechos ajenos al agente responsable, esto es, que tengan su fuente en causas inimputables al explotador.

La tendencia, tanto en los Convenios Internacionales que rigen la materia como en las legislaciones comparadas, es canalizar toda la responsabilidad en la figura del explotador de las instalaciones, estableciendo muy contadas eximentes de responsabilidad. Por ello se ha llegado a plantear que en materia de régimen de responsabilidad nuclear se está en el límite entre el estatuto de responsabilidad y el estatuto de la garantía.

No obstante, en la comparación entre esas tendencias internacionales y el derecho vigente, surgen numerosas dudas acerca de instituciones que están defectuosamente tratadas o derechamente omitidas en la legislación especial.

Para analizar estos vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo previamente desarrollado en este informe, a lo siguiente: **(5.5.1.)** Las eximentes de responsabilidad en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.5.2.)** Las eximentes de responsabilidad en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.5.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de eximentes de responsabilidad.

5.5.1. Las eximentes de responsabilidad en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional.

Como ya se ha señalado, las eximentes de responsabilidad en las Convenciones Internacionales que rigen la materia son mínimas, tanto en la Convención de Viena como en el Convenio de París. Si bien el tratamiento sistemático de esta materia se trato en este informe, en la sección relativa a los Convenios Internacionales, a modo de síntesis, y para percibir el alcance de las contradicciones y vacíos en la materia, se indica lo siguiente.

En ninguno de los dos existe una eximente general de "fuerza mayor", como es usual encontrar en la mayoría de los estatutos de responsabilidad estricta u objetiva. Por ello, este régimen se le considera como uno de los más severos de responsabilidad civil.

La Convención de Viena contempla las siguientes eximentes de responsabilidad:

- El explotador no es responsable por daños nucleares generados por conflicto armado, hostilidades, guerra civil o insurrección.

- El explotador puede exonerarse total o parcialmente si la persona que sufrió los daños los produjo o contribuyó a ellos por negligencia grave o por acción u omisión dolosa, en la medida en que la legislación interna así lo disponga.

En ambos casos, y para efectos de que operen las exoneraciones, incumbe al explotador probar que los accidentes nucleares se produjeron por actos de carácter bélico o bien por la intervención culposa o dolosa de la víctima, es decir, que entre el acto bélico o el hecho de la victima existe una relación de causalidad directa con el daño nuclear.

Cabe recordar que con anterioridad a la enmienda de 1997, los explotadores podían exonerarse de responsabilidad cuando la legislación interna del país contemplaba como eximente de responsabilidad la catástrofe natural de carácter excepcional. Esta eximente fue eliminada, por lo que actualmente el explotador responde en toda hipótesis de fuerza mayor según este Tratado.

Por su parte, el Convenio de París no difiere sustancialmente de lo previsto en la Convención de Viena, estableciendo como eximentes de responsabilidad:

- Daños nucleares causados directamente por conflictos armados, hostilidades, guerra civil, insurrección.

- En la enmienda de 2004, también se contempla la posibilidad de que el explotador se le exima total o parcialmente si prueba que el daño se produjo total o parcialmente por negligencia evidente de la persona que sufre el daño o producto de una acción u omisión realizada con la intención de producir daño.

Por otra parte, si bien no constituye técnicamente una eximente, el Convenio de París contempla la posibilidad de que el explotador repita contra un tercero por la responsabilidad que a éste le pueda caber, siempre que el tercero haya actuado con dolo. En todo caso, es una mera acción de repetición este caso, y ello, en consecuencia, no significa que el explotador deje de ser responsable.

Se destaca que, tal como sucedía en la Convención de Viena, el texto previo a la enmienda de 1997 establecía como eximente de responsabilidad la ocurrencia de una catástrofe natural de carácter excepcional, siempre que fuera contemplada en la legislación interna del Estado parte.

Hacemos presente que, en ambas Convenciones existen ciertas situaciones que se establecen como eximentes de responsabilidad, pero que más bien dicen relación con ciertas categorías comparativamente menores de daños reparables. Así, se establece que el explotador no responde por los daños causados a la instalación nuclear misma, como a los bienes ubicados dentro de la instalación cuya utilización era funcional a los fines de funcionamiento de la misma.

En la legislación nacional, la Ley de Seguridad Nuclear (art. 56) establece la responsabilidad del explotador incluso por caso fortuito y fuerza mayor, cuestión que coincide con la tendencia internacional.

Sigue también a las Convenciones el mismo artículo al establecer como eximente de responsabilidad los daños nucleares cuya causa directa se deba a hostilidades de conflicto armado exterior, insurrección y guerra civil.

Se hace presente que, al igual que en las Convenciones Internacionales, se establecen eximentes de responsabilidad que no son propiamente tales sino que se refieren a categorías comparativamente menores de daños que no son reparables, tales como el daño provocado a las instalaciones mismas o a los vehículos en que se transportan las sustancias nucleares.

Asimismo, en el derecho vigente, en comparación con los Tratados Internacionales (sobre todo en lo que respecta al rol de la víctima), tampoco existe un tratamiento claro y sistemático del rol que juega la intervención de un tercero, culposa o dolosamente, en la generación de un daño nuclear, y de la exposición imprudente o dolosa al daño por parte de la víctima.

5.5.2. Las eximentes de responsabilidad en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Como se ha hecho a lo largo de este informe, a continuación se efectuarán algunas referencias en materia de eximentes a los sistemas vigentes en Francia, Estados Unidos y Japón para los efectos de detectar los vacíos y contradicciones en el derecho vigente, remitiéndose en lo restante al examen contenido en la sección correspondiente a los sistemas de derecho comparado.

Así como se ha señalado al tratar otras materias, Francia ha adoptado prácticamente en su totalidad las disposiciones contenidas en el Convenio de París, y esta materia no hace la excepción. Sólo cabe destacar lo que establece el artículo 13-1 de la Ley 68-943, relativa a la *responsabilidad civil en materia de energía nuclear*, que prescribe que si el explotador prueba que el daño ha sido causado, total o parcialmente, por la grave negligencia o un hecho culposo de la víctima, puede ser exonerado de reparar sus daños, situación que debe ser apreciada por el juez en atención a la gravedad de la falta o negligencia.

En Estados Unidos, como ya se ha señalado, la Price Anderson Act (PAA) establece una "responsabilidad pública" por daños nucleares derivados de accidentes nucleares. El responsable a la luz de esta ley es el explotador, quien económicamente hace frente al pago de las compensaciones en dichos casos mediante la contratación de seguros.

Ahora bien, la PAA establece como únicas causales de exención de la responsabilidad del explotador los daños nucleares provocados por actos de guerra. Asimismo, se eximen de responsabilidad respecto de indemnizaciones debidas a los trabajadores de la instalación y cuya indemnización se encuentre cubierta por leyes estatales o federales de compensación a trabajadores, y por los daños a los bienes ubicados en la instalación nuclear. Una vez más debemos señalar que en estricto rigor estas dos últimas situaciones atienden a daños que son declarados como no reparables, y no constituyen eximentes de responsabilidad.

Ya se ha explicado que en EEUU existe lo que se denomina una canalización económica en la persona del explotador, quien es el individuo en mejor posición de asumir financieramente el pago de las compensaciones por daños nucleares producto de accidentes nucleares, lo que no significa que legalmente sea el responsable. La protección de la PAA es una protección general que mantiene indemne a todos aquellos agentes que pueden ser parte del proceso productivo y a los cuales jurídicamente les pueda caber responsabilidad en la generación del accidente. En tales casos, corresponderá a los explotadores (únicos obligados a contratar seguros

suficientes) o bien a las aseguradoras, perseguir el reintegro de los costos incurridos por el pago de indemnizaciones en virtud de la Price-Anderson Act respecto de los otros actores.

Por otra parte, la PAA establece la responsabilidad sólo con la constatación de la relación causal entre el accidente nuclear y el daño producido. Sin embargo, deja en manos de las legislaciones estatales en materia de responsabilidad civil las normas aplicables en cuanto a causalidad, daños reparables y eximentes. A este respecto, y para efectos de evitar la alegación de posibles eximentes de responsabilidad disponibles en la legislación estatal por parte del explotador, es que se estableció el concepto de ENO Extraordinary Nuclear Ocurrence (Evento Nuclear Extraordinario), el que impide hacer valer ciertas defensas disponibles en las legislaciones de los Estados, como son: alegaciones relativas a la conducta del reclamante o víctima; defensas en cuanto a inmunidades gubernamentales; y, defensas basadas en plazos de prescripción establecidos en la legislación estatal respectiva. Estas defensas no pueden ser alegadas por los responsables, estableciéndose en las respectivas pólizas de seguros la renuncia de aquellas defensas en caso de que se produzca un accidente nuclear. Como puede desprenderse, en este derecho, por tanto, la culpa de la víctima no tiene cabida como causal eximente de responsabilidad del explotador.

Finalmente, Japón establece que el explotador no es responsable cuando el daño es producto de un desastre natural grave de carácter excepcional y cuando éste es generado por una insurrección (Sección 3 de Ley para la Compensación de Daño Nuclear). A diferencia de lo expuesto en las Convenciones y en el derecho francés, aquí sí es posible que el explotador se exima de responsabilidad cuando el accidente nuclear que produce daño se deba a lo que se denomina una "catástrofe natural de carácter excepcional".

Por otra parte, en caso de que el daño se haya producido por un acto voluntario de un tercero, el explotador que ha compensado el daño de conformidad a la sección 3 tiene derecho a "repetir" en contra del tercero por los montos desembolsados (Sección 5 de Ley para la Compensación de Daño Nuclear)[281].

Si se analiza lo establecido en la Ley de Seguridad Nuclear, con acento en las similitudes con los sistemas comparados, podemos señalar que al igual que en Chile, las legislaciones analizadas excluyen la responsabilidad del explotador por actos que digan relación con situaciones bélicas, tales como conflictos armados, insurrección, etc.

[281] La expresión "repetir" se utiliza en el sentido del derecho de las obligaciones, esto es, la acción intentada por el obligado que pagó y que se dirige contra los otros obligados, para exigirles el reintegro de la parte que le incumbe en la obligación a cada uno de ellos.

De la misma forma a lo establecido en EEUU y Japón, se excluyen los daños a los trabajadores de las instalaciones en cuanto dichos daños sean cubiertos por regímenes de compensación de trabajadores, regímenes de seguridad social o previsional en materias laborales. También nuestra legislación contempla eximentes de responsabilidad en caso de daños a las instalaciones, aún cuando ambas situaciones –repetimos - en estricto rigor no son eximentes de responsabilidad sino categorías de daños no cubiertos por los estatutos de cada legislación.

En síntesis, en materia de vacíos y contradicciones, las principales ambigüedades del derecho vigente en relación a estos sistemas comparados, se encuentran en el rol o tratamiento que se le debe asignar a la culpa de la víctima y de la intervención culposa o dolosa de un tercero en la generación del accidente nuclear.

5.5.3. Los vacíos y contradicciones detectados en materia de eximentes de responsabilidad

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

(i) El primer punto a tratar es el que podemos denominar de las "**falsas eximentes**". Como se adelantó, el derecho vigente, si bien en esencia es tributario de las prácticas internacionales, contempla una regulación ambigua en materia de exenciones especiales que en verdad son categorías de daños no reparables, tales como el daño provocado a las instalaciones mismas o a los vehículos en que se transportan las sustancias nucleares, o los daños a los trabajadores cuando dichos daños están cubiertos por seguros sociales. Este punto es un error compartido con las Convenciones y con algunas legislaciones comparadas analizadas.

Lo anterior no es sólo una cuestión semántica, sino que tiene implicancias de fondo. Al hablar de eximentes nos estamos refiriendo a inmunidades, a situaciones en que el explotador, por diversas circunstancias, no será responsable y su cobertura de seguros no se activará para reparar los eventuales perjuicios que haya causado el accidente nuclear. En cambio, en las situaciones descritas, lo que ocurre es justo lo contrario, el explotador es declarado responsable y el seguro opera, pero únicamente se excluyen de la reparación esas categorías de daños específicos. En definitiva, tales excepciones, responden a lo que en el derecho de los seguros se denominan "exclusiones".

(ii) El segundo punto a abordar es la eximente de **catástrofe natural grave de carácter excepcional,** por la propia exposición a riesgos de esta naturaleza en la geografía chilena.

Sintetizando, hemos dicho que esta eximente era reconocida en el Convenio de Viena, pero que la enmienda de 1997 la borró. Chile, como se sabe, no ha ratificado aún esa enmienda. Por su parte, sistemas comparados que exponen a las plantas nucleares a riesgos similares, como es el caso de Japón, la contemplan como eximente. Por su parte, el resto de los instrumentos y sistemas analizados la excluyen.

La situación actual del derecho vigente puede explicarse en la materia por la inexistencia en la actualidad de energía nuclear de potencia. Su introducción en Chile, plantea la interrogante de si es necesario abordar de otra forma esta causal eximente, particularmente teniendo presente el carácter sísmico de nuestra geografía.

(iii) El tercer punto a examinar es el rol que juega la intervención de la **acción dolosa o culposa de un tercero**.

No existe en el derecho vigente un tratamiento claro del rol que juega la intervención de un tercero, culposa o dolosamente, en la generación de un daño nuclear. A este respecto, las únicas reglas de la Ley de Seguridad Nuclear son: la contenida en el artículo 59 ("*La persona que dolosamente haya causado un daño nuclear del cual, de conformidad con esta ley, no derive responsabilidad definitiva para el explotador, será responsable por los daños que se originen por su acción u omisión*"), y la prevista en artículo2 ("*El explotador de la instalación, planta, centro, establecimiento o laboratorio nuclear de donde provinieren las sustancias nucleares abandonadas, sustraídas, robadas, hurtadas o perdidas será responsable directamente de los daños nucleares que ellas hayan causado. La responsabilidad civil de los terceros cuando hayan ejecutado tales hechos, se regirá por las reglas del derecho común*"). Sobre las mismas, ya se ha explicado más arriba que contienen disposiciones que pueden considerarse en abierta contradicción, y que deben ser corregidas.

En efecto, en el primer caso, el tercero actúa como responsable único y subsidiario, cuando no puede perseguirse la responsabilidad del explotador. En cambio, en el segundo caso, la responsabilidad del tercero es conjunta con la del explotador, aunque sometida al régimen del derecho civil supletorio. La solución del derecho vigente es, por tanto, paradójica.

En verdad el rol de la acción de tercero en la responsabilidad del explotador puede alcanzar varios matices.

Puede, en efecto, diseñarse como eximente de responsabilidad, cuando reúne las características de imprevisibilidad e irresistibilidad, y proviene de un acto completamente exterior o ajeno al explotador (esto es, que no tenga su origen, por ejemplo, de la acción de uno de sus operarios, que no puede considerarse tercero, por no ser "exterior" o ajeno al explotador).

Pero al reconocerla como eximente de responsabilidad en el derecho de la responsabilidad civil nuclear, entonces los mismos fines del estatuto particular se verían burlados, pues en tal caso, frente a la acción de este tercero, no se comprometería –por efecto de la eximente- la responsabilidad del explotador ni las coberturas obligatorias que van en protección de las víctimas.

Es el explotador, por lo demás, quien se encuentra en las mejores condiciones para tomar todas las medidas de seguridad necesarias para evitar que la acción de terceros pueda generar daños nucleares a través de las instalaciones y sustancias nucleares que controla. Eximirlo de su responsabilidad, por una acción de un tercero, cualquiera sean los calificativos que se agreguen a ésta, envolvería incentivos implícitos y nocivos para la desidia en la adopción de tales medidas de seguridad.

La única posibilidad de que tal eximente sea viable es cuando el acto doloso del tercero se da en el marco de un conflicto armado, pues en esa situación concurriría precisamente la eximente de guerra externa o interna.

Pero la acción de un tercero, en el ámbito de la responsabilidad civil nuclear, puede tomar otro matiz. Puede en efecto, no abordarse como una eximente de responsabilidad, sino como una responsabilidad civil concomitante a la del explotador sujeta a las reglas del derecho civil supletorio. En este caso, la responsabilidad del tercero, que con su acción dolosa o culposa contribuyó a crear el accidente nuclear, no excluiría la responsabilidad civil nuclear y las coberturas del explotador. Las víctimas, de esta forma, se ven también beneficiadas con la posibilidad de perseguir la indemnización de sus daños en otro patrimonio. En este caso, también, si el explotador o sus aseguradores terminan indemnizando daños que correspondía en verdad que fuesen reparados por el tercero, entonces sería conveniente que el explotador o sus aseguradores pudieran “repetir” contra ese tercero para exigir su contribución a la reparación. Este mecanismo, además de ampararse en razones de justicia, facilita y disminuye parcialmente el costo de los seguros, pues las compañías pueden de esta forma recuperar parte de la indemnización prevista en la póliza.

Por ello, parece pertinente el tratamiento que le da en este sentido el derecho japonés. En cuanto al derecho vigente, si bien parcialmente sigue esta última línea, ya se ha mencionado que lo hace con varias ambigüedades, vacíos y contradicciones.

(iv) Finalmente, un último punto a tratar sobre la materia, se refiere al rol que puede tener la **culpa de la víctima** en las eximentes de responsabilidad nuclear.

Un ejemplo de estas situaciones es la exposición imprudente al daño que opera cuando la víctima se niega a evacuar los lugares afectados. Asimismo, el caso de la

victima que no se somete a tratamientos preventivos o paliativos que eviten que su enfermedad se agrave.

Como se prueba de la experiencia comparada, el rol de la víctima que se expone imprudentemente al daño, puede ser considerado como un factor de reducción o de exclusión de la responsabilidad del explotador. Razones de justicia justifican una eximente de esta naturaleza, así como razones de eficiencia, orientadas a la reducción del costo total de los daños que se sufren por un accidente. Los costos de los daños siempre son pagados por alguien (las víctimas, los responsables o la sociedad), y las medidas tendientes a aminorar esos costos redundan en beneficios sociales. Más aún, la responsabilizarían de las víctimas, operada sobre bases prudentes y razonables, puede incidir en una disminución del costo de los seguros privados.

Así, por ejemplo, cabe recordar que la Convención de Viena dispone en su artículo IV lo siguiente: *"Si el explotador prueba que la persona que sufrió los daños nucleares los produjo o contribuyó a ellos por negligencia grave o por acción u omisión dolosa, el tribunal competente podrá, si así lo dispone su propia legislación, exonerar total o parcialmente al explotador de su obligación de abonar una indemnización por los daños sufridos por dicha persona"*.

En cuanto al derecho vigente, la Ley de Seguridad Nuclear no ha recogido esta disposición, guardando absoluto silencio (vacío) acerca del rol de la culpa de la víctima en la responsabilidad civil nuclear.

No obstante, la Convención de Viena señala en su artículo VIII, que: "*Sin perjuicio de lo dispuesto en la presente Convención, la naturaleza, forma e importancia de la indemnización, así como la distribución equitativa de la misma, se regirán por la legislación del tribunal competente.*"

Por ello, puede entenderse que en la materia podría legítimamente aplicarse el artículo 2330 del Código Civil, que constituye el derecho civil supletorio, y que señala: "*La apreciación del daño está sujeta a reducción si el que lo ha sufrido se expuso a él imprudentemente*". Pero esta norma no entrega un tratamiento sistemático de cuáles sería las condiciones concretas y los efectos precisos de esta intervención causal de la víctima.

De todas formas, estas ambigüedades y vacíos se plantan como un punto que sería necesario abordar en el momento del ingreso de la energía de potencia nuclear.

5.6. Posible rol de la responsabilidad del Estado

Como se indicó, según el esquema de propiedad que se defina de las plantes, podría existir una propiedad total o parcial del Estado. Ahora bien, al intervenir el Estado, y como acertadamente se insinuó en las bases de licitación, podría entenderse comprometida lo que se denomina "Responsabilidad del Estado". Este régimen de responsabilidad en el derecho nacional presenta serias incertidumbres, pues no cuenta con un estatuto claro y está sujeto a una interpretación jurisprudencial que ha sido particularmente errática.

Para analizar estos vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo previamente desarrollado en este informe, a lo siguiente: **(5.6.1.)** El rol de la responsabilidad del Estado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.6.2.)** El rol de la responsabilidad del Estado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.6.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia del rol de la responsabilidad del Estado.

5.6.1. El rol de la responsabilidad del Estado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

La incidencia de la responsabilidad del Estado no es un tema asumido directa y abiertamente en los Tratados Internacionales. Esto por dos razones esenciales.

La primera es que al definir los Tratados al sujeto responsable al "explotador", y al poder ser el mismo un sujeto privado, público o mixto, implícitamente se está afirmando que resulta indiferente el régimen de propiedad de la planta para los efectos de determinar el estatuto y el alcance de la reparación de los daños. Independientemente de la composición de la propiedad del explotador, será él quien responda sobre la base del estatuto único reconocido en estos instrumentos internacionales.

La segunda razón es que, tal como se dijo al tratar las relaciones entre la responsabilidad civil nuclear y la responsabilidad ambiental, el primero es una "ley especial" que por su propia naturaleza se impone necesariamente sobre los otros. En efecto, ocurrido un accidente nuclear en una instalación nuclear o por medio de sustancias nucleares, no puede existir cuestión de qué estatuto aplicar, sino que debe recurrirse necesariamente a las reglas previstas en el derecho interno para la responsabilidad nuclear.

Por estas mismas razones, la legislación nacional tampoco asume expresamente este aspecto. Pero de su lectura puede concluirse que se aplica frente a cualquier tipo de

explotador y aún cuando concurra la propiedad pública en su composición accionaria. Más aún, el artículo 3° N°11 de la Ley de Seguridad Nuclear plantea la posibilidad de que sea considerado explotador toda "persona jurídica", pudiendo éstas ser de derecho privado o de derecho público.

5.6.2. El rol de la responsabilidad del Estado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

De la misma forma que en el caso de los Tratados Internacionales, en los derechos comparados esta cuestión no se aborda expresamente, y ello se justifica en las mismas dos razones expuestas.

Es más un sistema donde históricamente la propiedad de las plantas de generación eléctrica ha sido público, como es el caso francés, el único régimen que se estima categóricamente aplicable a los accidentes nucleares es el previsto en la Ley 68-943, relativa a la *responsabilidad civil en materia de energía nuclear*, y en el Convenio de París del que es parte. De hecho, el artículo 2° de esta Ley, establece categóricamente que se sujeta a sus disposiciones las personas jurídicas privadas y públicas que tienen el carácter de explotador.

5.6.3. Los vacíos y contradicciones detectados en materia del rol de la responsabilidad del Estado

Sobre la base de lo anterior, es posible concluir que en la materia los eventuales vacíos y contradicciones del derecho vigente no plantean desafíos importantes.

Por una parte, es cierto que la intervención del Estado en la propiedad de las plantas de energía nuclear puede presentar, en teoría, incertidumbres, porque el propio estatuto de esa responsabilidad los genera, tal como fueron expuestos.

Tales incertidumbres dicen relación con lo siguiente: con el alcance de la responsabilidad del Estado (en nuestro sistema jurídico, al carecer de un estatuto legal completo, tanto sus condiciones como sus efectos son objeto de debate y vacilaciones jurisprudenciales); con las dudas que plantea la intervención de "empresas del Estado", personas jurídicas de derecho público creadas por ley (la tendencia es aplicarles a éstas el estatuto del derecho civil común, pero también existen fallos aislados que en la materia la tratan como responsabilidad directa del Estado); y, con las particularidades de la responsabilidad cuando están envueltas concesiones de bienes públicos (aún cuando se trate de concesionarios privados, al prestar un servicio público, se plantean dudas si debe responder por el estatuto civil o administrativo).

Sin embargo, tales incertidumbres se disipan cuando se tienen presente dos consideraciones.

Primero, que la responsabilidad civil nuclear se aplica, en Chile y en el mundo, a todo explotador, no importando la composición de su propiedad. Segundo, que el estatuto especial de responsabilidad civil nuclear tiene vocación de aplicación preferente por sobre cualquier otro estatuto común o especial.

5.7 La prescripción

Este tema será tratado más detalladamente en el capítulo 8 de este informe relativo a los seguros y garantías estatales, por lo que para evitar repeticiones sólo haremos una breve exposición sobre los distintos plazos existentes en materia prescripción.

Nos referiremos de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en la sección (2.) y (4.) de este informe, a lo siguiente: **(5.7.1.)** Extensión en el tiempo de la cobertura en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(5.7.2.)** Extensión en el tiempo de la cobertura en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(5.7.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de prescripción.

5.7.1. La prescripción en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

La Convención de Viena y el Convenio de París enmendados disponen dos plazos de prescripción diferenciados y un plazo de caducidad o extinción de la acción:

Un plazo de prescripción de treinta años a contar de la fecha del accidente nuclear, para pérdida de vida o lesiones corporales.

Un plazo de prescripción de diez años a contar de la fecha del accidente, para cualquier otro daño.

Un plazo de caducidad o extinción[282] de tres años a contar de la fecha en que la víctima haya tomado conocimiento, o pueda haber razonablemente tenido conocimiento del daño y de la identidad del explotador, siempre que no se hayan vencido los plazos de prescripción decenales y tridecenales antes señalados.

[282] El Convenio de París utiliza el término de caducidad, y la Convención de Viena el término de extinción.

Como se dijo, en este punto también la Ley de Seguridad Nuclear se aparta de los Convenios Internacionales, y dispone que "La acción para reclamar por los daños nucleares prescribirá en el plazo de diez años, contando de la fecha en que ocurrió o se denunció por un inspector el accidente nuclear. El demandante podrá modificar su demanda, en razón de agravación del daño sufrido, hasta el momento de dictarse la sentencia definitiva de segunda instancia. La ampliación o modificación de la demanda se tramitará en forma incidental" (art. 66).

En primer lugar, al no diferenciar plazos de prescripción según la naturaleza del daño, conservando una prescripción decenal para todo tipo de daño.

Por otra parte, tampoco establece un plazo de caducidad o de extinción que se compute a partir de la aparición de los daños, o desde el momento en que razonablemente debió tenerse conocimiento de ellos.

5.7.2. La prescripción en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

La legislación francesa en la materia será modificada a partir de la entrada en vigor del Protocolo de Enmienda del Convenio de París de 2004. En un inicio, la ley N° 68-943 establecía un plazo de caducidad de tres años a contar del conocimiento o razonable conocimiento del daño por parte de la víctima, siempre cuando la acción fuera entablada dentro de un plazo de prescripción de 10 años a contar del accidente, sin diferenciar la naturaleza del daño.

El plazo de caducidad no fue modificado, pero si el plazo de prescripción, que fue ampliado ajustándose a los nuevos plazos del artículo 8° del Convenio de París.

Así, cuando el Protocolo de Enmienda entre en vigor, la legislación francesa tendrá un plazo de prescripción de 10 años para los daños materiales y 30 para los corporales, cuestión que ha sido criticada por los aseguradores.

Por su parte, Japón aplica en parte las reglas de responsabilidad de su derecho común. La ley japonesa establece una caducidad de la acción en un plazo de tres años y un plazo de prescripción general de 20 años. Es un mecanismo similar al de los Convenios y de la legislación francesa, pero con un plazo de prescripción inferior y no diferenciado.

En Estados Unidos la situación en materia de prescripción no es homogénea ya que se aplica la legislación federal de cada Estado. Por regla general, los Estados que tienen actividad nuclear tienen plazos de prescripción en la materia, similares a los que ya

hemos visto, es decir, un plazo de caducidad de tres años a contar del conocimiento del daño por parte de la víctima.

A la luz de lo anterior, podemos observar que Chile no se encuentra en una situación particularmente excepcional en cuanto a los plazos de prescripción. En el estado actual de la legislación internacional y comparada, sigue siendo un plazo relativamente razonable. Debe tenerse en cuenta que en Chile el plazo de prescripción del derecho civil común es de 4 años.

5.7.3. Los vacíos y contradicciones detectados en materia prescripción

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

(i) El plazo de prescripción en materia nuclear es actualmente de 10 años desde la fecha del accidente.

Es el mismo plazo que en la Convención de Viena antes de la enmienda del 97, por lo que *a priori*, Chile no se encuentra en una situación anormal respecto a sus compromisos internacionales vigentes, ni tampoco como lo vimos respecto a las legislaciones comparadas.

(ii) No obstante, como también señalamos, muy probablemente Chile no podrá abstraerse de sus compromisos internacionales, por lo que eventualmente, ya sea a través de la Convención de Viena o de la de París, deberá modificar el plazo de prescripción establecida en la Ley de Seguridad Nacional, para extenderlo a 30 años en materia de daños personales.

(iii) Por lo demás, la legislación vigente no establece un plazo de caducidad o extinción, independiente de la prescripción, como lo hacen los Convenios internacionales y la legislación comparada, en especial, Francia.

Podría plantearse como pertinente introducir este plazo de caducidad en la legislación nacional porque hace parte de la evolución del derecho nuclear internacional de la que, como hemos señalado en reiteradas oportunidades, Chile no podrá desentenderse.

IV. DESARROLLO Y TRANSPOSICIÓN DE CONVENIOS INTERNACIONALES SUSCRITOS Y NECESARIOS DE SUSCRIBIR

INTRODUCCIÓN

En esta parte del estudio, expondremos el panorama internacional en relación a los convenios internacionales existentes en materia de energía nuclear que inciden en los puntos críticos definidos por la CNE, destacando la importancia de la existencia de un sistema de tratados internacionales que funcione adecuadamente.

Para dicho efecto, nos referimos, por una parte, a los tratados internacionales suscritos al amparo de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y, por la otra, a los tratados internacionales suscritos al amparo de la Agencia de Energía Nuclear (NEA), de la OCDE. Si bien ambos organismos, en líneas generales, comparten los mismos propósitos, ellos se persiguen a distintos niveles, ya que mientras los tratados internacionales suscritos al amparo de la OEIA, buscan una regulación global abierta a todos los países del orbe, los tratados internacionales suscritos al amparo de la OCDE buscan una regulación cuyos destinatarios son aquellos países que forman parte o han sido invitados a formar parte de la referida organización internacional.

Analizamos también en el presente estudio, la terminología que se utiliza en los distintos instrumentos internacionales, los mecanismos procedimentales de ratificación y denuncia que se encuentran involucrados, planteando las ventajas de adherir a algunos tratados internaciones.

Si bien Chile, muestra una ratificación importante de aquellos tratados internacionales suscritos al amparo de la OEIA, se identificaron en el estudio algunas contradicciones en relación a tratados internacionales actualmente vigentes en Chile. Adicionalmente, se identificaron determinados vacíos, por lo cual se propone la ratificación de tratados internacionales, suscritos al amparo de la OCDE, para lo cual Chile debe manifestar su intención de suscribir a los programas voluntarios de la NEA. Finalmente realizamos conclusiones para esta sección del informe.

1. Regulación Internacional de la energía nuclear. El sistema de regulación internacional

El sistema de regulación internacional de la energía nuclear está compuesto por una serie de instrumentos de distinta jerarquía normativa que ha tenido una recepción dispar por parte de los distintos países del orbe, lo cual, obedece a una serie de factores, entre los que se encuentran las distintas opciones en relación al desarrollo energético (energía nuclear, energía convencional, energías renovables, etc.), grado de

desarrollo del país, ciclo económico que vive el país, capacidades tecnológicas, simpatías históricas entre vecinos[283].

Los tratados internacionales, admiten diversas clasificaciones atendiendo entre otros factores a los sujetos del Derecho Internacional, la materia y número de signatarios, según pasamos a analizar[284]:

En atención a los sujetos del Derecho Internacional, la doctrina ha dividido los tratados internacionales en:

- Tratados internacionales concertados entre dos o más Estados.
- Tratados internacionales concluidos entre los miembros de la Commonwealth británica.
- Tratados internacionales concluidos entre la Santa Sede y los diferentes Estados.
- Los acuerdos concluidos por un organismo internacional con un Estado o con otro organismo internacional.

En atención a la materia, la doctrina ha dividido los tratados internacionales en:

- Tratados Jurídicos[285].
- Tratados Políticos[286].
- Tratados Administrativos[287].
- Tratados Económicos o de tipo social[288]
- Tratados particulares[289].
- Tratados generales[290].
- Tratados leyes o normativos[291].
- Tratados-contratos[292].

---

283 Morales Plaza, Antonio. Morales Plaza, Antonio. "*La Regulación Nuclear Globalizada*". Madrid: La Ley, p.268.

284 Guzmán Latorre, Diego. "*Tratado de Derecho Internacional Privado*". Santiago: Editorial Jurídica de Chile, p.63-65

285 Quedan comprendidos dentro de esta clasificación los tratados sobre arbitraje, ejecución de sentencias extranjeras, exhortos, cartas rogatorias, legalización. Ibíd., p.64.

286 En esta clasificación se incluyen los tratados de paz, de amistad, de alianza, de tregua, de límites, de reducción de armamentos, de asilo, etc., Ibíd., p.64.

287 Caben dentro de esta clasificación, los tratados sobre propiedad intelectual, industrial y artística, convenciones sanitarias, uniones postales, telegráficas, etc. Ibíd., p.64

288 A este grupo pertenecen los tratados de comercio, de navegación, del trabajo, etc., Ibíd., p.65.

289 Son aquellos que tratan determinadas materias, Ibíd., p.65.

290 Son aquellos que regulan la generalidad de una materia. *Ibíd.*, p.65,

291 Son aquellos que establecen normas generales que regulan conductas de los estados contratantes de una manera permanente y continua. *Ibíd.*, p.65

Conforme al número de signatarios, la doctrina ha clasificado los tratados internacionales en:

- Tratados bilaterales.
- Tratados multilaterales.
- Tratados plurilaterales o colectivos.

Conforme a si se encuentran abiertos a la ratificación de todos los Estado o solo alguno de ellos, la doctrina ha clasificado los Tratados Internaciones en:

- Tratados abiertos.
- Tratados cerrados.

1.1. Características de los tratados internacionales relacionados con la regulación de la Energía Nuclear

Dado que los tratados internacionales que analizamos, en su gran mayoría, han nacido al amparo de organismos internacionales como es el caso de la OIEA conocido también por sus siglas inglesas como IAEA[293] y al alero de la OCDE[294] como es la NEA, aquéllos podrían clasificarse como tratados internacionales concluidos al amparo de organismos internacionales, de carácter multilateral, administrativo y político, por regular una materia específica, como lo es la energía nuclear, cuyo contenido político no podemos desconocer.

A continuación exponemos los tratados internacionales relacionados con los puntos críticos, ordenándole informe al organismo internacional del cual se originan.

---

292 Son aquellos actos de carácter subjetivo que engendran prestaciones recíprocas a cargo de los Estados Contratantes, cada uno de los cuales persigue objetivos diferentes, estableciendo entre las partes normas individuales que imponen una conducta o prestación única y el derecho correlativo para exigir tal conducta o prestación. *Ibíd.*, p.65.

293 La OEIA, centro mundial de cooperación en el ámbito nuclear, fue creada como la organización "Átomos para la Paz" en el año 1957 bajo el alero de la ONU y tiene por objeto promover el uso seguro y pacífico de la tecnología nuclear. *Vid*. http://www.iaea.org/About/index.html

294 En lo que respecta a la NEA, la misma es una agencia especializada nacida en el año 1958 bajo el nombre Agencia Europea de la Energía Nuclear (European Nuclear Energy Agency "ENEA", cambiando su nombre posteriormente en el año 1972 por el de Agencia de la Energía Nuclear (Nuclear Energy Agency "NEA"). Su misión es la de asistir a sus miembros, con el objeto de mantener y desarrollar, a través de la cooperación internacional, las bases científicas, tecnológicas requeridas para el uso seguro, económico y compatible con el medioambiente de la energía nuclear. *Vid*. http://www.nea.fr/html/nea/flyeren.html

Tabla 1

Tratado Internacional OEIA	**Tratado Internacional OECD**
Estatuto de la Organización Internacional de Energía Atómica	Estatuto de la Agencia de Energía Nuclear de la OECD
Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias	Convenio Paris acerca de la responsabilidad civil en materia de energía nuclear
Acuerdo sobre privilegios e inmunidades del Organismo	Protocolo de enmienda a la Convención de Paris acerca de la responsabilidad civil.
Convención de Viena sobre responsabilidad civil por daños nucleares	Convención suplementaria de Bruselas de responsabilidad civil.
Protocolo común relativo a la aplicación de la convención de Viena y del convenio Paris	Protocolo de enmienda de la Convención suplementaria de Bruselas de responsabilidad civil.
Convención sobre la protección física de los materiales nucleares	
Acuerdo entre el Gobierno de Chile y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en Relación con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y El Caribe	
Tratado de no proliferación de las armas nucleares	
Convención sobre seguridad nuclear	
Protocolo Adicional al Acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe	
Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica	
Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares	
Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares	

En principio, podemos señalar, que tanto la OEIA como la NEA persiguen objetivos similares, ya que ambas instituciones buscan el desarrollo seguro de la energía

nuclear para fines pacíficos. Debe hacerse notar que la NEA agrupa a países[295] que en su conjunta alcanzan el 85% de la potencia instalada nuclear a nivel mundial[296].

Si bien no existe una disposición que señale que tal o cual tratado internacional deba estar suscrito, el buen funcionamiento del Derecho Internacional de los Tratados pasa por que la mayor cantidad de Estados Miembros ratifiquen o adhieran a los tratados internacionales según sea el caso.

1.2. Situación de Chile respecto de los tratados internacionales relativos a la energía nuclear

Los tratados internacionales suscritos por Chile y que se relacionan con los puntos críticos, ordenados por fecha de ratificación y vigencia son los que se exponen la siguiente tabla.

Tabla 2

Tratado	Ratificación	Decreto Nº	Fecha Promulgación	Fecha Publicación en Diario Oficial
Estatuto de la Organización Internacional de Energía Atómica	19 de septiembre de 1960	544	24 de septiembre de 1960	20 de octubre de 1960
Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras materias	4 de agosto de 1977	1809	26 de mayo de 1977	25 de junio de 1977
Acuerdos sobre Privilegios e inmunidades del organismo internacional de Energía Atómica	8 de diciembre de 1987	164	17 de febrero de 1988	22 de abril de 1988
Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares	23 de noviembre de 1989	18	8 de enero de 1990	8 de marzo de 1990
Protocolo Común relativo a la aplicación de la Convención de Viena y	29 de noviembre de 1989	1212	30 de septiembre de 1993	3 de enero de 1994

[295] Ellos corresponden a Australia, Austria, Bélgica, Canadá, República Checa, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Korea, Luxemburgo, México, Holanda, Noruega, Portugal, República Eslovaca, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido, Estados Unidos.

[296] Vid. http://www.nea.fr/html/nea/flyeren.html

del Convenio de París				
Convención sobre la protección física de los materiales nucleares	27 de abril de 1994	1121	9 de agosto de 1994	17 de octubre de 1994
Acuerdo entre el Gobierno de Chile y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en Relación con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y El Caribe	5 de abril de 1995	539	4 de mayo de 1995	19 de julio de 1995
Tratado de no proliferación de las armas nucleares	25 de mayo de 1995	797	20 de junio de 1995	25 de septiembre de 1995
Convención sobre seguridad nuclear	30 de diciembre de 1996	272	3 de marzo de 1997	3 de junio de 1997
Protocolo Adicional al Acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe	Octubre de 2003	17	29 de enero de 2004	20 de marzo de 2004
Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica	22 de septiembre de 2004	8	10 de enero de 2005	12 de abril de 2005
Convención sobre la pronta notificación de accidente nucleares	15 de noviembre de 2004	381	27 de diciembre de 2005	25 de abril de 2006
Acuerdo de cooperación para la promoción de la ciencia y la tecnología nucleares en América Latina y el Caribe	15 de noviembre de 2004	5	3 de enero de 2006	25 de abril de 2006

1.3. Explicación de los Tratados Internacionales de los cuales Chile es parte

Con fines sistematizadores, podemos señalar los tratados internacionales antes indicadas, se pueden clasificar desde el punto de vista de su contenido en: (i) Tratados internacionales de carácter orgánico, por cuanto contienen regulaciones en relación a los organismos internacionales encargados del uso pacífico y seguro de la energía nuclear, (ii) Tratados internacionales sobre uso pacífico de la energía nuclear, (iii) Tratados internacionales relativos al uso seguro de la energía nuclear y (iv) Tratados internacionales que regulan el régimen de responsabilidad civil por accidentes nucleares.

En este apartado, sólo analizaremos los tratados internacionales pertenecientes a los criterios individualizados bajo los números (i), (ii) y (iii), por cuanto aquellos relativos a la responsabilidad, son tratados en el capítulo respectivo.

1.3.1 Estatuto de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA)

El objetivo de la OIEA, de acuerdo al artículo 2° de su estatuto, es procurar, acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero.

Las disposiciones principales dicen relación con el cumplimiento de los objetivos antedichos, para lo cual la OIEA tendrá las funciones enumeradas en el artículo 3° del estatuto, tales como, fomentar y facilitar en el mundo entero la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica de la energía atómica con fines pacíficos, debiendo proveer los materiales, servicios, equipo e instalaciones necesarias para ello.

Asimismo, debe alentar el intercambio de información científica y técnica en materia de utilización de la energía atómica con fines pacíficos. En atención a esto último, el artículo 8 del estatuto prescribe que será conveniente que los Estados miembros pongan a disposición del Organismo toda la información que a su juicio pueda ser de utilidad para éste, así también toda la información científica que se obtenga como consecuencia de la asistencia prestada por este último.

1.3.2. Acuerdo entre el gobierno de Chile y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en Relación con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y El Caribe

Este tratado ha tenido por propósito que Chile asuma la obligación, para con la comunidad internacional, de aceptar la aplicación de salvaguardias en relación a los materiales nucleares y actividades nucleares realizadas dentro de su territorio, bajo su jurisdicción o efectuadas bajo su control, a efectos que dichos materiales no se desvíen hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.

Sus principales disposiciones, para el cumplimiento de lo anterior, dicen relación con el derecho del Organismo Internacional de la Energía Atómica para verificar y controlar las salvaguardias que se aplican, lo cual se materializa con un sistema de intercambio de información entre el Estado de Chile y el Organismo Internacional de la Energía Atómica, con el establecimiento de deberes de confidencialidad para el Organismo Internacional de la Energía Atómica respecto de aquella información estratégica que llegue a su poder, y con la instauración de un sistema de inspectores, los cuales previamente designados, podrán realizar las visitas y actividades en el territorio nacional a fin de revisar las instalaciones y materiales nucleares.

El inicio de las salvaguardias se produce en los siguientes supuestos: (i) Cuando se importen materiales que contengan uranio y torio y aquéllos no hayan alcanzado la composición y pureza adecuada para la fabricación de combustibles o para el enriquecimiento isotópico y (ii) Cuando cualquier material nuclear de composición y pureza adecuado para la fabricación de combustible o para el enriquecimiento isotópico, salgan de la planta o de la fase de un proceso en que hayan sido producidos, o cuando materiales nucleares que reúnan esas mismas características, u otros materiales nucleares, producidos en una fase posterior del ciclo de combustible nuclear, sean importados.

Por su parte el cese de las salvaguardias se produce cuando el Organismo Internacional de la Energía Atómica, haya determinado que los materiales nucleares sujetos a salvaguardia, han sido consumidos o diluidos de modo tal que ya no pueda utilizarse para ninguna actividad nuclear importante desde el punto de vista de las salvaguardias, o que son prácticamente irrecuperables, y cuando se vayan a utilizar materiales nucleares sujetos a salvaguardias en actividades no nucleares, tales como la producción de aleaciones o materiales cerámicos

1.3.3. Convención sobre la protección física de los materiales nucleares

El objetivo de esta Convención es regular la utilización y transporte internacional, así como la utilización, almacenamiento y transporte nacional, de materiales nucleares con fines pacíficos.

Sus principales disposiciones las encontramos en materia de regulación y fiscalización.

Específicamente, en relación con las potestades autorizatorias, el artículo 4 de la convención establece la prohibición a los Estados Parte de autorizar la exportación de materiales nucleares a otros países, a menos que se compruebe la aplicación de estándares o niveles de protección dispuestos en el Anexo I de la Convención. A su vez, tampoco se permite la importación ni la autorización a la importación de materiales nucleares desde un Estado que no sea parte de la Convención, a menos que se comprueben los niveles de protección física descritos en el anexo ya indicado. Bajo los mismos términos, tampoco podrá autorizarse el tránsito por su territorio (marítimo, terrestre o aéreo) de materiales nucleares transportados entre Estados que no son parte de la Convención.

Por otra parte, en cuanto a las potestades sancionatorias, la convención describe, en su artículo 7 actos que cada Estado Parte debe considerar como "punibles", entregándole a los mismos la responsabilidad de imponer frente a su comisión "penas apropiadas".

Dicha disposición requiere como adecuación penal, que deben existir en la legislación sanciones para la recepción, posesión, uso, transferencia, alteración, evacuación o dispersión de materiales nucleares sin autorización legal, cuando este acto cause o pueda causar muerte o lesiones graves o daños materiales sustanciales[297].

297 Convención sobre Protección Física de Materiales Nucleares. 1980. Artículo 7 "1.La comisión intencionada de:... a) un *acto* que consista en recibir, poseer, usar, transferir, alterar, evacuar o dispersar materiales nucleares *sin autorización legal,* si tal acto causa, o es probable que cause, la muerte o lesiones graves a una persona o daños materiales sustanciales... será considerada como delito punible por cada Estado Parte en virtud de su legislación nacional. 2. Cada Estado Parte deberá considerar punibles los delitos descritos en el presente artículo mediante la imposición de penas apropiadas que tengan en cuenta la gravedad de su naturaleza.".

1.3.4. Tratado de no proliferación de las armas nucleares

Este tratado tiene por objetivo evitar la propagación de armas nucleares, para lo cual impone a los Estados Partes, poseedores de armas nucleares, el deber de no traspasar dichas armas u otros dispositivos nucleares explosivos o, traspasar su control, sea directa o indirectamente, a Estados no poseedores de armas nucleares. Asimismo prohíbe que dichos Estados, ayuden, alienten o induzcan de alguna forma a los Estados no poseedores de armas nucleares a fabricar o adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, o el control sobre tales armas o dispositivos explosivos.

Coherente con lo anterior, se dispone en su artículo segundo que los Estados Parte no poseedores de armas nucleares, se comprometen a no recibir ningún traspaso de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos, sea directa o indirectamente; a no fabricar ni adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos; y a no recabar ni recibir ayuda alguna para la fabricación de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.

Con miras a impedir que la energía nuclear se desvíe de usos pacíficos hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, señala el mismo tratado que se requiere la cooperación de todos los Estados para el logro de este objetivo. De este modo, dicho tratado impone a sus Estados miembros la obligación de permitir actividades de fiscalización y control por parte de los organismos reguladores sobre la materia.

1.3.5. Convención sobre seguridad nuclear

De acuerdo al artículo primero, esta convención tiene por objeto conseguir y mantener un alto grado de seguridad nuclear en todo el mundo, lo anterior, a través de la mejora de medidas nacionales y de la cooperación internacional, incluida, cuando proceda, la cooperación técnica relacionada con la seguridad; establecer y mantener defensas eficaces en las instalaciones nucleares contra los potenciales riesgos radiológicos a fin de proteger a las personas, a la sociedad y al medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante emitida por dichas instalaciones y, prevenir los accidentes con consecuencias radiológicas y mitigar éstas en caso de que se produjesen.

Para el logro de dichos objetivos, su artículo 4 dispone que cada Parte Contratante tendrá la obligación de adoptar, en el ámbito de su legislación nacional, las medidas legislativas, reglamentarias y administrativas, así como cualesquier otras que sean

necesarias para dar cumplimiento a las obligaciones derivadas de la convención, debiendo informar las medidas que se hayan adoptados en dicho sentido.

La Convención, en su artículo 7º, referido al Marco Legislativo y Reglamentario, dispone que cada Parte Contratante debe establecer y mantener un marco legislativo y reglamentario por el cual deberán regirse la seguridad en las instalaciones nucleares, debiendo el mismo contener un sistema de otorgamiento de licencias relativas a instalaciones nucleares y la prohibición de desarrollar o explotar una instalación nuclear sin la misma.

Lo anterior supone que, durante la vigencia de la licencia, existirá una inspección permanente por parte de la autoridad reguladora nuclear, conforme al principio de control continuo, para verificar el cumplimiento de las condiciones de otorgamiento de la licencia. Luego, se debe contar con formas para asegurar el cumplimiento de las normas aplicables, incluido lo establecido en la autorización o licencia, tales como medidas de suspensión, modificación o revocación de ésta.

Asimismo, la Convención en comento, prescribe la necesidad de contar con un órgano regulador, el cual debe estar dotado de autoridad, competencia y recursos financieros y humanos adecuados para cumplir las responsabilidades que se le asignen. Se establece respecto de este órgano regulador, que él debe contar una separación efectiva entre sus funciones y las de cualquier otro órgano o entidad a los que incumba el fomento o la utilización de la energía nuclear.

En el ámbito de la responsabilidad, la convención señala que los Estado Partes, deben velar porque la responsabilidad primordial, en cuanto a la seguridad de una instalación nuclear, recaiga sobre el titular de la correspondiente licencia, adoptando las medidas necesarias para velar porque dicho titular asuma sus responsabilidades.

En cuanto a la regulación y fiscalización de la seguridad en las instalaciones nucleares, la referida Convención señala que cada Parte Contratante adoptará las medidas adecuadas para velar por: i) La realización de evaluaciones detalladas y sistemáticas de la seguridad antes de la construcción y puesta en servicio de una instalación nuclear así como a lo largo de su vida; ii) La realización de actividades de verificación por medio de análisis, vigilancia, pruebas e inspección, para comprobar que el estado físico de una determinada instalación nuclear y su funcionamiento se mantienen de conformidad con su diseño, los requisitos nacionales de seguridad aplicables y los límites y condiciones operacionales.

Así, conforme a lo dispuesto en el artículo 15 de la convención, también es obligación de los estados contratantes, adoptar las medidas adecuadas para velar porque la exposición de los trabajadores y el público a las radiaciones causadas por una

instalación nuclear, en todas las situaciones operacionales se reduzca al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, y porque ninguna persona sea expuesta a dosis de radiación que superen los límites de dosis establecidos a nivel nacional.

Finalmente, la Convención establece que cada Parte Contratante adoptará las medidas adecuadas para velar porque a su propia población y a las autoridades competentes de los Estados que se hallen en las cercanías de una instalación nuclear se les suministre información pertinente sobre los planes de emergencia y respuesta, siempre que sea probable que resulten afectados por una emergencia radiológica originada en dicha instalación.

1.3.6. Protocolo Adicional al Acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe

El objetivo del presente tratado, es regular con mayor detalle el régimen de salvaguardias en relación con los materiales nucleares, para lo cual, se detallan las actividades e instalaciones respecto de las cuales el Gobierno de Chile debe informar al Organismo Internacional de la Energía Nuclear, en lo que dice relación con su ubicación, actividades de investigación y desarrollo.

1.3.7. Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica

Conforme a su artículo 1°, esta convención tiene por objeto que los Estados Parte cooperen entre sí y con el Organismo Internacional de Energía Atómica, para facilitar la pronta asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica, a fin de reducir al mínimo sus consecuencias y de proteger la vida, los bienes y el medio ambiente de los efectos de las liberaciones radiactivas.

De acuerdo al artículo tercero, el Estado solicitante estará encargado de la dirección, el control, la coordinación y la supervisión generales de la asistencia. La parte que preste asistencia deberá, cuando la asistencia comprenda personal, designar en consulta con el Estado solicitante la persona que estará a cargo del personal y el equipo suministrado por ella, y que ejercerá la supervisión operacional inmediata sobre dicho personal y equipo. La persona designada ejercerá tal supervisión en cooperación con las autoridades apropiadas del Estado solicitante.

Asimismo, en el artículo segundo número 4 de este instrumento se fijan las obligaciones de los Estados Parte, en cuanto a informar a la OIEA acerca de los recursos materiales y personales con lo que cuenta para la prestación de asistencia.

En cuanto al tratamiento de la información proporcionada entre el Estado solicitante y el que presta la asistencia, el artículo 6 reconoce la posibilidad de dar a conocer la información proporcionada por un Estado Parte, salvo en los casos que dicha información haya sido entregada en carácter de confidencial, debiendo asegurarse por parte del Estado que la recibe, un tratamiento conforme a lo requerido.

En atención de lo anterior, es que deberá existir un órgano con la capacidad técnica para coordinar y supervisar la asistencia, así también de informar a la OIEA acerca de los recursos disponibles para prestar asistencia.

En relación con la propiedad, el artículo 3 de la convención señala que la propiedad del equipo y los materiales suministrados por cualquiera de las dos partes durante los períodos de asistencia no se verá afectada y se asegurará su devolución.

Por último, en su artículo décimo, se establece un régimen amplio de exención de responsabilidad para el Estado que presta asistencia, por hechos vinculados a las labores realizadas en el marco de la misma. Tales exenciones no se refieren a la responsabilidad civil nuclear, sino a los daños que pueden provocar la propia labor de asistencia y no el accidente nuclear en sí mismo.

1.3.8. Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares

El objetivo de esta convención es que los Estados partes suministren lo más pronto posible la información pertinente sobre accidentes nucleares a fin de que se puedan reducir al mínimo las consecuencias radiológicas transfronterizas y, fortalecer aún más la cooperación internacional para el desarrollo y la utilización segura de la energía nuclear.

Esta Convención tiene incidencia indirecta en la noción de accidente nuclear, en diversos aspectos vinculados a la notificación de su ocurrencia y a las medidas de asistencia para controlar la expansión de los daños que puede provocar. En tal sentido, puede entenderse vinculada a las medidas de mitigación de la expansión de los daños nucleares y, por tanto, relacionados indirectamente con la responsabilidad civil nuclear.

Señala el artículo primero de esta convención que ésta se aplicará a todo accidente relacionado con las instalaciones o actividades de un Estado Parte, o de personas o entidades jurídicas bajo su jurisdicción o control, tales como, reactores nucleares, dondequiera que esté ubicado: instalaciones del ciclo del combustible nuclear; instalaciones de gestión de desechos radiactivos; transporte y almacenamiento de combustibles nucleares o desechos radiactivos; fabricación, uso, almacenamiento,

evacuación y transporte de radisótopos para fines agrícolas, industriales, médicos y otros fines científicos y de investigación conexos; y el empleo de radisótopos con fines de generación de energía en objetos espaciales., que ocasionen, o sea probable que ocasionen, una liberación de material radiactivo, y que haya resultado, o pueda resultar, en una liberación transfronteriza internacional que pueda tener importancia desde el punto de vista de la seguridad radiológica para otro Estado.

Luego, en caso de que se produzca un accidente nuclear, la convención especifica potestades de información al órgano regulador, al señalar en su artículo segundo que el Estado Parte deberá: a) Notificar de inmediato, directamente o por conducto del Organismo Internacional de Energía Atómica a aquellos Estados que se vean o puedan verse físicamente afectados, y al Organismo, el accidente nuclear, su naturaleza, el momento en que se produjo y el lugar exacto, cuando proceda; b) suministrar prontamente a los Estados indicados, directamente o por conducto del organismo, y al Organismo, la información pertinente disponible con miras a reducir al mínimo las consecuencias radiológicas en esos Estados, como se especifica en el artículo 5.

1.4. Tratados internacionales no ratificados por Chile, relacionados con los puntos críticos

Por otra parte, Chile no es parte de los siguientes tratados internacionales referidos a materiales nucleares, las cuales serán objeto de análisis a efecto de evaluar la necesidad de su ratificación o no.

Los tratados de los cuales Chile no es parte, son los siguientes:

- Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radioactivos;

- Protocolo de enmienda de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares;

- Convención sobre indemnización suplementaria por daños nucleares;

- Protocolo Facultativo sobre Jurisdicción Obligatoria para la Solución de Controversias, de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares;

- Cuarto Acuerdo por el que se prorroga el Acuerdo de Cooperación Regional para la investigación, el desarrollo y la capacitación en materia de ciencias y tecnología nucleares (ACR);

- Estatuto de la Agencia de Energía Nuclear de la OECD;

- Convenio Paris acerca de la responsabilidad civil en materia de energía nuclear;

- Protocolo de enmienda a la Convención de Paris acerca de la responsabilidad civil;

- Convención suplementaria de Bruselas de responsabilidad civil;

- Protocolo de enmienda de la Convención suplementaria de Bruselas de responsabilidad civil.

Cabe hacer presente, que los tratados relativos a materias de responsabilidad ya han sido analizados en el capítulo correspondiente, por lo que sólo abordaremos aquellos no tratados en otros apartados.

1.4.1. Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radioactivos

Esta convención tiene por objetivo entregar las pautas mínimas para la gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos, señalando al efecto, que en última instancia es el Estado el responsable de velar por el control de los desechos logrando así mantener un alto grado de seguridad en la gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos.

Se busca a través de la mejora de las medidas nacionales y de la cooperación internacional, incluida, cuando proceda, la colaboración técnica relacionada con la seguridad en el manejo de desechos.

La seguridad se debe implementar en todas las etapas de la gestión del combustible gastado y de desechos radiactivos, adoptando medidas eficaces contra los riesgos radiológicos potenciales a fin de proteger a las personas, a la sociedad y al medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante, actualmente y en el futuro, de manera que se satisfagan las necesidades y aspiraciones de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades y aspiraciones.

Una de las formas de seguridad, es la prevención de los accidentes con consecuencias radiológicas, y en caso que ellos se produzcan se deberán adoptar las medidas de mitigación necesarios.

Para el logro de dichos objetivos, se debe crear o designar un órgano regulador ad hoc para fines de velar por la aplicación de la normativa legal y reglamentaria referida al manejo de estas sustancias.

La convención en comento, contempla normas atributivas de responsabilidad, estableciendo como responsable primordial en la gestión de estas materias al titular de la licencia que ha dado origen a ellos. Por otra parte, exige el que cada Estado establezca planes de emergencia para efectos de afrontar cualquier tipo de accidente.

Asimismo, la convención regula localidades de emplazamiento, reitera la exigencia de contar con licencia previa que autorice las operaciones de control del combustible gastado y manejo de desechos y la necesidad de contar con una autoridad independiente encargada de la regulación y fiscalización de la energía nuclear.

1.4.2. Protocolo Facultativo sobre Jurisdicción Obligatoria para la Solución de Controversias, de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares

Este protocolo señala que las controversias originadas por la interpretación o aplicación de la Convención de Viena se someterán obligatoriamente a la Corte Internacional de Justicia, que a este título podrá entender en ellas a instancia de cualquiera de las partes en la controversia que sea Parte en el presente Protocolo.

1.4.3. Estatuto de la Agencia de Energía Nuclear de la OECD

El objetivo de la Agencia es fomentar el desarrollo de la producción y los usos de la energía nuclear, incluidas las aplicaciones de las radiaciones ionizantes con fines pacíficos, a través de la cooperación entre los países participantes y la armonización de las medidas adoptadas a nivel nacional.

Para el logro de dicho objetivo, el artículo 6, establece un control de seguridad a petición de cualquiera de las parte. El artículo 7, señala que es obligación de la Agencia fomentar el desarrollo de la investigación acerca de la producción y uso de la energía nuclear con fines pacíficos en los países participantes.

Con dicho fin, deberá, fomentar el intercambio de información científica y técnica relacionada con sus objetivos entre los países participantes.

2. Jerarquía de los instrumentos de regulación internacional

La jerarquía de los instrumentos de regulación internacional viene determinada por el grado de validez que las legislaciones internas le otorgan a la suscripción de tratados internacionales, teniendo aquéllos en el caso de Chile, el mismo rango que una ley según se desprende de una interpretación sistemática de la CPR.

Sin perjuicio del grado de jerarquía que cada legislación internacional le otorga a cada tratado internacional, en el ámbito internacional, junto con los tratados, encontramos normas que se encuentran por debajo de los mismos. Nos referimos a las circulares emitidas por organismos internacionales como es el caso de la OEIA y normas técnicas dictadas por particulares que en principio no tienen fuerza vinculante (*soft law*[298]) pero que las distintas legislaciones nacionales por remisión le otorgan el grado necesario para hacerlas vinculantes. Así por ejemplo, puede darse el caso que normativas técnicas dictadas por la International Commission on Radiological Protection (ICRP) sean aplicadas por remisión de determinadas legislaciones, con lo cual podría darse la paradoja que el organismo fiscalizador de Francia aplique a un actor en el ámbito de la energía nuclear una multa por el incumplimiento técnico de una normativa de la ICRP y que a su vez en Estados Unidos se aplique la misma multa a otra agente por el incumplimiento de la misma normativa[299].

Finalmente, de los distintos tratados internacionales analizados y que se expusieron en la Tabla 1, se desprenden una serie de principios generales los que conforme lo dispone el artículo 38[300] del Estatuto de la Corte Internacional de Justicia, podrían considerarse una fuente del Derecho Internacionales, de considerarse aquéllos como principios generales del derecho nuclear.[301] Dichos principios son los siguientes:

- Principio de seguridad tecnológica y de la precaución o prevención

El principio de seguridad tecnológica deriva de la creación de riesgo que es connatural a la energía nuclear, riesgo que afecta tanto a los seres humanos como el medioambiente. Por ello el principio bajo análisis, engloba el principio de precaución

[298] El soft law es un término anglosajón que: "presenta las características del "Derecho" en cuanto a su pretendido efecto de influenciar en el deseo y de restringir la libertad de aquellos a quien el soft law se dirige, pero que al ser mencionado, produce la sensación de que algo falta en la naturaleza jurídica o vinculante del Derecho tal y como lo conocemos en la vida cotidiana cual es la fuerza vinculante". *Vid*. Alonso García, Ricardo. "*El Soft Law Comunitario*", en RAP Nº154, año 2001, p.63-94.
[299] Morales Plaza, Antonio. "La Regulación (…) op. cit". Madrid: La Ley, p.67.
[300] Artículo 38. La Corte, cuya función es decidir conforme al derecho internacional las controversias que le sean sometidas, deberá aplicar:
c. los principios generales de derecho reconocidos por las naciones civilizadas.
[301] Cfr.

y prevención, buscando el primero evitar potenciales riesgos para lo cual se exige la adopción de determinadas medida a fin de evitar daños ambientales respecto de los cuales no existe una probabilidad cierta de ocurrencia. Por su parte el principio de prevención, obliga a tomar medidas dado que se conoce la posibilidad de que un daño se produzca.

En caso de producirse el daño, debe reaccionarse de manera rápida y coordinada para mitigar los efectos que se producen.

- Principio de la seguridad física

A través de este principio se busca la represión en caso de uso no legítimo de la energía nuclear.

- Principio de la responsabilidad

El principio de responsabilidad deriva es que el explotador de la energía nuclear es el responsable de los daños causados y el cumplimiento de las medidas impuestas por el órgano regular no lo eximen del cumplimiento.

- Principio de la autorización

Corresponde a la aplicación de típicas normas de policía respecto de actividades potencialmente riesgosas, de manera tal, que la autoridad debe aprobar aquellas actividades que comportan un riesgo grave para las personas o medioambiente.

- Principio del control continuo

Este principio corresponde nuevamente a una actividad típica de policía en que la autoridad debe verificar y fiscalizar el cumplimiento de la normativa.

- Principio de la compensación.

Corresponde a la reparación integral de las personas, sociedad o medioambiente en caso de accidentes nucleares.

- Principio del desarrollo sostenible

Este principio propio del sector del medioambiente lo que busca es el crecimiento sostenido sin comprometer los recursos futuros.

- Principio del cumplimiento

Busca una efectiva trasposición de los convenios internacionales de manera tal de cualquiera sea la decisión soberana en relación a la trasposición de los convenios, se cumplan con los principios que se encuentra subyacentes en los mismos.

- Principio de la independencia

Apunta al diseño de la institucionalidad reguladora la que exige como requisito de independencia, por razones de incentivos, que la entidad reguladora se encuentre separada de la entidad promotora de la energía nuclear.

- Principio de la transparencia

Busca la necesidad de la existencia de información simétrica entre los operadores de centrales nucleares o actores que intervengan en el ciclo de generación de energía nuclear de manera tal que sus actuaciones sean creíbles y generen confianza por parte de la sociedad.

- Principio de cooperación internacional

Aquí adquiere capital importancia la cooperación de los distintos países por los riesgos que generan la actividad nuclear desde un punto de vista pacífico y las potenciales peligros que encierra el uso no pacífico de la misma.

Sobre todo el principio se puede materializar desde el ámbito regional dónde la relación con los países fronterizos se hace muy evidente la necesidad de cooperación a fin de evitar accidente.

En la medida que la legislación nacional de aplicación efectiva y desarrollo a los principios antes enunciados, creemos que se cumplen con los deberes de trasposición de los respectivos tratados internacionales, sin perjuicio de su aplicación directa conforme lo dispone la CPR.

Conforme con lo anterior y de forma gráfica podemos señalar que la regulación internacional de la energía nuclear presenta el siguiente panorama:

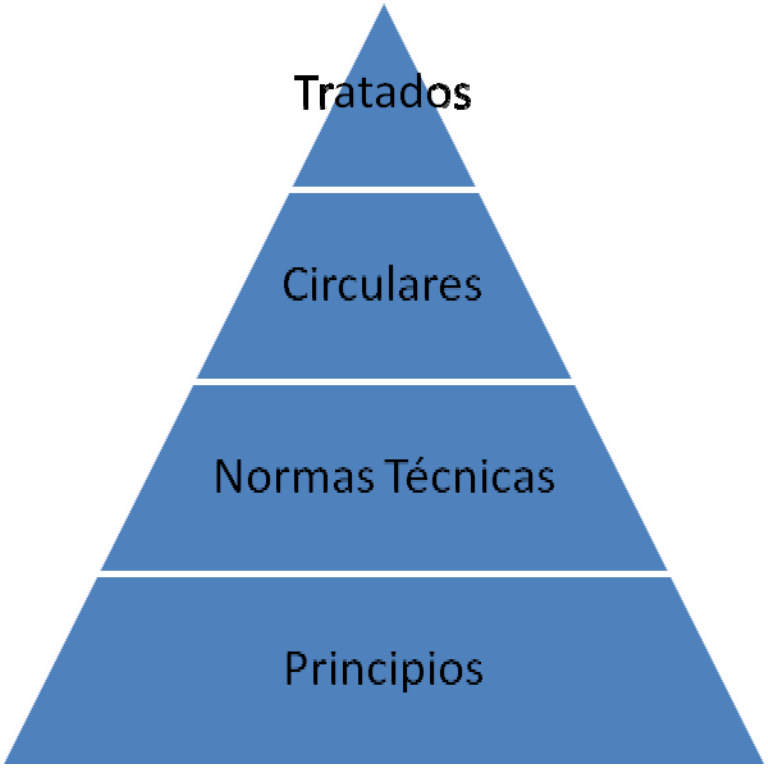


Figura 1.

3. Terminología relevante en materia de convenios internacionales

El derecho de los tratados internacionales contiene algunas definiciones importantes[302] que deben manejarse y comprenderse a fin de entender la nomenclatura utilizada en el punto crítico tratado y otras partes del informe. Los conceptos mínimos que deben conocerse son los siguientes:

- **Ratificación, aceptación, aprobación o adhesión**: Es el acto internacional por el cual un Estado hace constar en el ámbito internacional su consentimiento en obligarse por un tratado.

- **Accesión o adhesión**: Es el acto unilateral en virtud del cual un Estado acepta la oportunidad de ser parte en un tratado internacional con posterioridad a su entrada en vigencia.

[302] Las definiciones han sido extraídas del siguiente sitio: http://ola.iaea.org/OLA/documents/Glossary%20of%20Select%20Depositary%20Terms.asp

- **Reserva**: Es la declaración unilateral, cualquiera sea su enunciado o denominación, hecha por un Estado al firmar, ratificar, aceptar o aprobar un tratado o al adherirse a él, con objeto de excluir o modificar los efectos jurídicos de ciertas disposiciones del tratado en su aplicación a ese Estado.

- **Denuncia o terminación**: Es la declaración unilateral en virtud del cual un Estado parte manifiesta su intención de retirarse de un Tratado Internacional.

4. Adaptabilidad de los tratados internacionales al Derecho interno nacional: procedimientos de ratificación o denuncia de tratados internacionales

Los procedimientos de ratificación y denuncia de los tratados internacionales se encuentran regulados en el caso de Chile en la CPR. En concreto, existen normas tanto para el Presidente de la República cuanto para el Congreso Nacional relacionado con los tratados internacionales.

Así el artículo 31 Nº15[303] de la CPR, dispone que al Presidente de la República le corresponde conducir las relaciones políticas con las potencias extranjeras y organismos internacionales, y llevar a cabo las negociaciones; concluir, firmar y ratificar los tratados que estime pertinentes para los intereses del país.

Asimismo, en el artículo 54.1[304] de la CPR regula el trámite ante el Congreso, estableciendo al efecto que el trámite de aprobación legislativa sigue el mismo procedimiento que la aprobación de una ley.

[303] Artículo 32. Son atribuciones especiales del Presidente de la República:
15. Conducir las relaciones políticas con las potencias extranjeras y organismos internacionales, y llevar a cabo las negociaciones; concluir, firmar y ratificar los tratados que estime convenientes para los intereses del país, los que deberán ser sometidos a la aprobación del Congreso conforme a lo prescrito en el artículo 54 Nº1.
Las discusiones y deliberaciones sobre estos objetos serán secretos si el Presidente de la República así lo exigiere.

[304] Artículo 54. Son atribuciones del Congreso:
1) Aprobar o desechar los tratados internacionales que le presentare el Presidente de la República antes de su ratificación.
La aprobación de un tratado requerirá, en cada Cámara, de los quórums que corresponda, en conformidad al artículo 66, y se someterá, en lo pertinente, a los trámites de una ley.
El Presidente de la República informará al Congreso sobre el contenido y el alcance del tratado, así como de las reservas que pretenda confirmar o formularle.
El Congreso podrá sugerir la formulación de reservas y declaraciones interpretativas a un tratado internacional, en el curso del trámite de su aprobación, siempre que ellas procedan de conformidad a lo previsto en el propio tratado o en las normas generales de derecho internacional.

En términos simples el procedimiento que debe seguirse para ratificar un tratado internacional es el siguiente:

(i) Negociación del Tratado Internacional

Por regla general, los tratados internacionales son negociados por representantes de las naciones, denominándose a aquellos como plenipotenciarios.

En el caso chileno, pese a que el artículo 32 Nº15, entrega dicha facultad al Presidente de la República.

(ii) Suscripción del Tratado Internacional

La negociación, por regla general, conduce normalmente a la redacción de un texto escrito que es el tratado y una vez que los representantes de los Estados han puesto la firma en los mismos, el Tratado en cuestión queda en estado para ser ratificado por el órgano nacional.

(iii) Aprobación del Tratado Internacional

Las medidas que el Presidente de la República adopte o los acuerdos que celebre para el cumplimiento de un tratado en vigor no requerirán de nueva aprobación del Congreso, a menos que se trate de materias propias de ley. No requerirán de aprobación del Congreso los tratados celebrados por el Presidente de la República en el ejercicio de su potestad reglamentaria.
Las disposiciones de un tratado sólo podrán ser derogadas, modificadas o suspendidas en la forma prevista en los propios tratados o de acuerdo a las normas generales de derecho internacional.
Corresponde al Presidente de la República la facultad exclusiva para denunciar un tratado o retirarse de él, para lo cual pedirá la opinión de ambas Cámaras del Congreso, en el caso de tratados que hayan sido aprobados por éste. Una vez que la denuncia o el retiro produzca sus efectos en conformidad a lo establecido en el tratado internacional, éste dejará de tener efecto en el orden jurídico chileno.
En el caso de la denuncia o el retiro de un tratado que fue aprobado por el Congreso, el Presidente de la República deberá informar de ello a éste dentro de los quince días de efectuada la denuncia o el retiro.
El retiro de una reserva que haya formulado el Presidente de la República y que tuvo en consideración el Congreso Nacional al momento de aprobar un tratado, requerirá previo acuerdo de éste, de conformidad a lo establecido en la ley orgánica constitucional respectiva. El Congreso Nacional deberá pronunciarse dentro del plazo de treinta días contados desde la recepción del oficio en que se solicita el acuerdo pertinente. Si no se pronunciare dentro de este término, se tendrá por aprobado el retiro de la reserva.
De conformidad a lo establecido en la ley, deberá darse debida publicidad a hechos que digan relación con el tratado internacional, tales como su entrada en vigor, la formulación y retiro de reservas, las declaraciones interpretativas, las objeciones a una reserva y su retiro, la denuncia del tratado, el retiro, la suspensión, la terminación y la nulidad del mismo.
En el mismo acuerdo aprobatorio de un tratado podrá el Congreso autorizar al Presidente de la República a fin de que, durante la vigencia de aquél, dicte las disposiciones con fuerza de ley que estime necesarias para su cabal cumplimiento, siendo en tal caso aplicable lo dispuesto en los incisos segundo y siguientes del artículo 64, y (…)

La aprobación del Tratado Internacional, corresponde a la consideración que hace el Presidente de la República del Tratado Internacional que ha sido suscrito. En el Congreso Nacional la aprobación del Tratado Internacional, sigue los mismos trámites que una Ley y el Congreso, en el estudio del mismo puede aprobarlo o rechazarlo pura y simplemente, o bien, con reservas.

(iv) Ratificación del Tratado Internacional

Una vez que el Tratado Internacional ha sido aprobado, el Presidente de la República queda habilitado para proceder a la ratificación.

4.1. Procedimientos de suscripción de tratados internacionales promovidos por la OEIA

El procedimiento de suscripción de tratados internacionales promovidos por la OEIA es un procedimiento regulado en cada uno de los tratados internacionales, el cual en todo caso, no varía en cuanto a la forma del mismo y consiste en el depósito del instrumento de ratificación.

Para tal efecto, se designa al Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica como depositario para recibir los instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión según sea el caso.

4.2. Procedimientos de ratificación de tratados internacionales promovidos por la OCDE

La reciente invitación efectuada a Chile por parte del Consejo de la OECD[305] a fin de formar parte de dicha organización, se materializó formalmente el 11 de enero de 2010 al firmarse en Santiago de Chile el acuerdo de accesión entre Chile y el referido Organismo[306].

La accesión citada, despierta interrogantes en relación a su implicancia desde el punto de vista de los tratados internacionales que Chile debe adherir por pasar a formar parte de la OECD. En concreto, se plantea la legítima pregunta de si el Estado de Chile por el hecho de ingresar a la OECD deberá acceder a los tratados internacionales

[305] Decisión del Consejo C (2009)182 Final 15 de diciembre de 2009. "*Accesión of Chile to the Organization*", disponible en: http://www.google.cl/search?hl=es&source=hp&q=C%282009%29182%2FFINAL&meta=&aq=f&oq=

[306] El texto se encuentra disponible en el siguiente link: http://www.oecd.org/dataoecd/41/11/44381035.pdf

relacionados con energía nuclear suscritos al amparo de dicho organismo[307] y sí, como tal, se encuentra en la obligación de denunciar tratados internacionales suscritos al amparo de otros organismos como lo es la OEIA.

Desde ya puede responderse que, en principio, no existe obligatoriedad de acceder a los convenios OECD relacionados con el desarrollo de la energía nuclear y tampoco existe la obligación de denunciar tratados internacionales dictados al amparo de la OEIA.

En efecto, según se desprende de la decisión del Consejo C(2007) 100/Final, los programas de la OECD relativos a la energía en general y la energía nuclear en particular son facultativos y no obligatorios[308], por lo que es el Estado de Chile quien debe tomar una posición en relación a dichas materias[309].

La posición del Estado de Chile en tal sentido, consta en el Anexo Nº6 del documento denominado "*Agreement On The Terms Of Accesión Of The Republic Of Chile To The Convention On The Organization For Economic Co-Operation And Development*", en el cual se manifestó la intención en participar en el programa de control de químicos y en el centro de desarrollo, no pronunciándose respecto de los programa que la OECD maneja en relación a la energía nuclear.

4.3. Procedimiento de denuncia de tratados internacionales suscritos al amparo de la OEIA

Los mecanismos de denuncia y ratificación de tratados internacionales se encuentran regulados de manera general en la Convención de Viena sobre derecho de los Tratados. Por regla general, cada tratado internacional regula un mecanismo de denuncia o término del mismo y en el evento que aquellos instrumentos no prevean tales mecanismos de terminación, la Convención de Viena dispone que los tratados no

[307] Los tratados internacionales que han sido dictados al amparo de dicho organismos y que Chile no ha ratificado, corresponden al Estatuto de la Agencia de Energía Nuclear de la OECD y el Convenio de Paris acerca de la responsabilidad civil en materia de energía nuclear.
Adicionalmente tiene incidencia en esta materia el Protocolo común relativo a la aplicación de la Convención de Viena sobre responsabilidad civil por daños nucleares y la Convención de Paris acerca de la responsabilidad en materia de energía nuclear, el cuál ha sido ratificado por Chile.

[308] La no obligatoriedad queda ratificada por el hecho que 2 de los 30 países actualmente miembros de la OCDE, como es el caso de Polonia y Nueva Zelandia no han suscrito el Convenio de Paris.

[309] Decisión del Consejo C (2007)100/Final de 3 de diciembre de 2007. "*Roadmap for the accession of Chile to the OECD Convention*" p.7, disponible en:
http://www.olis.oecd.org/olis/2007doc.nsf/LinkTo/NT00005856/$FILE/JT03237375.PDF

pueden ser denunciados a menos que, conforme lo dispone el artículo 56[310] de la citada convención, el mecanismo de denuncia se desprenda de la intención de las partes contratantes o el retiro se infiera de la naturaleza del tratado.

Los siguientes tratados internacionales suscritos por Chile relacionados con los puntos críticos, contemplan mecanismos específicos de denuncia.

- Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares[311].
- Acuerdos sobre privilegios e inmunidades del Organismo Internacional de Energía Atómica[312].

a) Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica[313].
b) Convención sobre seguridad nuclear[314].
c) Convención sobre la protección física de los materiales nucleares[315].

---

310 Artículo 56. Denuncia o retiro en el caso de que el tratado no contenga disposiciones sobre la terminación, la denuncia o el retiro.
1. Un tratado que no contenga disposiciones sobre su terminación ni prevea la denuncia o el retiro del mismo, no podrá ser objeto de denuncia o de retiro a menos:
a) que conste que fue la intención de las partes admitir la posibilidad de denuncia o de retiro o
b) que el derecho de denuncia o de retiro pueda inferirse de la naturaleza del tratado.

311 Artículo 15. Denuncia.
1. Todo Estado Parte podrá denunciar la presente convención notificándolo por escrito al depositario.
2. La denuncia surtirá efecto transcurrido un año a partir de la fecha en que el depositario reciba la notificación.

312 Sección 39. El presente Acuerdo continuará en vigor entre el Organismo y todos los Estados Miembros que hayan depositado los instrumentos de aceptación, durante el tiempo que el Estado continúe siendo Miembro del Organismo, o hasta que la Junta de Gobernadores apruebe un texto revisado del Acuerdo y el Estado Miembro sea parte en este Acuerdo revisado, quedando entendido que si un Estado Miembro deposita una notificación de denuncia en poder del Director General, el presente Acuerdo dejará de estar en vigor en lo que respecta a dicho Estado un año después de que el Director General haya recibido dicha notificación.

313 Artículo 17
Denuncia
1. Todo Estado Parte podrá denunciar la presente Convención notificándolo por escrito al depositario.
2. La denuncia surtirá efecto transcurrido un año a partir de la fecha en que el depositario reciba la notificación.

314 Artículo 33. Denuncia
1. Cualquier Parte Contratante podrá denunciar la presente Convención mediante la notificación dirigida por escrito al depositario.
2. La denuncia surtirá efectos al cabo de un año contado a partir de la fecha de recepción de la notificación por el depositario, o en una fecha posterior que pueda ser indicada en la citada notificación.

315 Artículo 21
1. Un Estado parte podrá denunciar la presente Convención notificándolo por escrito al depositario.
2. La denuncia surtirá efecto transcurridos ciento ochenta días a partir de la fecha en que el depositario haya recibido la notificación.

d) Convención de Viena sobre responsabilidad civil por daños nucleares.
e) Protocolo común relativo a la aplicación de la Convención de Viena y del Convenio de Paris[316]
f) Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias[317].

En general todas las convenciones contemplan un mecanismo de denuncia bastante simplificado, conforme al cual el Estado Parte debe notificar por escrito al depositario de la Convención[318]para que aquélla deje de producir efectos un año después de que el depositario reciba la misma.

No obstante lo anterior, escapa a esta regla simplificada, el Protocolo adicional al acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado para la proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe[319], suscrito al amparo de la OEA y Estatuto de la Organización Internacional de Energía Atómica[320], suscrito al amparo de la ONU.

---

[316] Artículo XXI
Cualquier Parte Contratante podrá denunciar el presente Convenio mediante modificación por escrito a uno de los Depositarios con una antelación de seis meses. El depositario informará sin demora dicha notificación a todas las partes.
[317] Artículo XXI
Cualquier Parte Contratante podrá denunciar el presente Convenio mediante modificación por escrito a uno de los Depositarios con una antelación de seis meses. El depositario informará sin demora dicha notificación a todas las partes.
[318] Estos corresponden al Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica en el caso de los tratados suscritos al amparo de la OEIA, al Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica en el caso del Estatuto de la Organización Internacional de Energía Atómica y al Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos en el caso Protocolo adicional al acuerdo con el Organismos Internacional de Energía Atómica para la aplicación de Salvaguardias en relación con el Tratado para la proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe.
[319] Art. 31: Vigencia y denuncia 1. El presente Tratado tiene carácter permanente y regirá por tiempo indefinido, pero podrá ser denunciado por cualquiera de las Partes mediante notificación entregada al Secretario General del Organismo, si a juicio del Estado denunciante han ocurrido o pueden ocurrir circunstancias relacionadas con el contenido del presente Tratado o de los Protocolos Adicionales I y II anexos que afecten a sus intereses supremos, o a la paz y la seguridad de una o más Partes Contratantes. 2. La denuncia surtirá efecto tres meses después de la entrega de la notificación por parte del Gobierno del Estado Signatario interesado al Secretario General del Organismo. Éste, a su vez, comunicará inmediatamente dicha notificación a las demás Partes Contratantes, así como al Secretario General de las Naciones Unidas para que lo haga del conocimiento del Consejo de Seguridad y de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Igualmente la comunicará al Secretario General de la Organización de los Estados Americanos.
[320] Artículo XVIII
Reforma del Estatuto y retiro de miembros
D. En cualquier momento después de transcurridos cinco años desde la fecha en que haya entrado en vigor el presente Estatuto con arreglo al párrafo E del artículo XXI, o en caso de reformas al presente

Mientras el primero exige la concurrencia de causas calificadas para proceder a la denuncia como son los intereses supremos de la nación, la paz o seguridad, el segundo establece como límite para proceder al retir, un plazo de cinco años desde que el tratado entre en vigor, lo que respecto de Chile ocurrió el 19 de septiembre de 1960, por lo que el plazo de carencia venció en 19 de septiembre de 1965.

También escapa a esta regla simplificada de denuncia la Convención de Viena sobre responsabilidad civil por daños nucleares, ya que aquella incorpora los siguientes límites a la denuncia:

g) No puede efectuarse en los diez años siguientes a su entrada en vigor, plazo que en el caso de Chile se encuentra cumplido desde que la referida convención entró en vigor el 23 de enero de 1990[321] y por ende los diez años se cumplieron el 23 de enero de 2000.

- No puede efectuarse durante el plazo de renovación de la Convención si aquella se renueva automáticamente[322.] En el caso de Chile se han producidos las siguientes renovaciones: 23 enero de 2000-23 de enero de 2005 y 23 de enero de 2005-23 de enero de 2010, 23 de enero de 2010-23 de enero de 2015.

4.4. Procedimiento de denuncia de tratados internacionales suscritos al amparo de la OCDE

Los procedimientos de denuncia de los tratados internacionales suscritos al amparo de la OECD, también tienen procedimientos homogéneos. En efecto, el artículo 22 del Convenio Paris acerca de la responsabilidad civil en materia de energía nuclear, dispone que la misma tiene una vigencia de 10 años desde su entrada en vigencia y que cada parte contratante puede, después de expirado dicho plazo de vigencia, dar aviso de término al Secretario General de la organización con un plazo de anticipación de 12 meses.

Estatuto que no estuviere dispuesto a aceptar, cualquier miembro podrá retirarse del Organismo mediante notificación al efecto dirigida por Escrito al Gobierno depositario a que se refiere el párrafo C del artículo XXI, el cuál informará de ello sin tardanza a la Junta de Gobernadores y a todos los miembros,

321 Hacemos presente que la Convención entra en vigor tres meses después de la ratificación efectuado por el Estado Parte, por lo que ello explica la diferencia de fecha entre la ratificación y la entrada en vigor.

322 La renovación automática se produce a menos que una parte contratante avise con una antelación de un año al Director General de la OEIA, la intención de ponerle término.

5. Adecuación De La Legislación Interna A La Regulación De Tratados Internacionales

Dado que Chile ha suscrito la gran mayoría de los Tratados Internacionales relacionados con los puntos críticos, nuestra propuesta no es innovar en la materia, bastando para ello sólo que la legislación interna se adecue a los compromisos internacionales ya suscritos y traspuestos a la legislación interna.

Conforme a lo anterior, no vislumbramos como necesario, suscribir nuevos convenios internacionales, salvo la recomendación de adherir al protocolo de enmienda de Viena de 1997, dado que Chile sólo se encuentra adherido a la versión inicial de dicho instrumento, la cual ha sido actualizado y ha sufrido importantes modificaciones. Asimismo, parece recomendable, adherir al Convenio de Paris y el Convenio Suplementario de Bruselas ya que ello permitirá que operen fondos internacionales de indemnización sobre los seguros privados y garantías estatales lo que redunda en una garantía adicional para la indemnización de daños que produzca un accidente nuclear. Estas recomendaciones, se analizan in extenso en el capítulo de responsabilidad y de Seguros y Garantías respectivamente.

Se plantea la conveniencia de adecuar la Ley Orgánica de la CCHEN a los imperativos de independencia orgánica, funcional, personal y financiera del órgano regulador del uso pacífico de la energía nuclear previsto en la Convención Sobre Seguridad Nuclear, según se desarrolla en el capítulo de Regulación y Fiscalización.

Se plantea la conveniencia de adecuar y complementar el sistema de licenciamiento, al modelo institucional que exige la Convención Sobre Seguridad Nuclear, en tanto exige que quien otorgue las autorizaciones en materia de seguridad nuclear sea regulada de manera independiente al sistema autorizatorio actualmente vigente, según se explica en el apartado de licenciamiento.

En relación a la Convención Conjunta Sobre Seguridad En La Gestión Del Combustible Gastado Y Sobre Seguridad En La Gestión De Desechos Radioactivos, respecto de la cual Chile no es parte, muchas de sus disposiciones ya incorporados en otros tratados internacionales, en especial, la Convención sobre seguridad nuclear, por lo que no parece indispensable adherir a dicho instrumento.

6. Conclusiones

- Los tratados internacionales regulan, por regla general, de manera bastante genérica los puntos críticos sometidos a nuestro estudio, estableciendo el mínimo común aceptable que las leyes internas debieran desarrollar con un mayor detalle.

- Se identifica una alta ratificación por parte de Chile de los tratados internacionales relacionados con los puntos críticos, no obstante lo cual, la legislación interna debe adecuarse a la Convención Sobre Seguridad Nuclear en lo que dice relación con el órgano regulador y licenciamiento.

- Chile no manifestó su intención de seguir los programas opcionales que la OCDE mantiene en relación a la energía nuclear.

- En caso que Chile decida por opción por desarrollar la energía nuclear como fuente alternativa para la producción de energía eléctrica, parece recomendable, iniciar los trámites a fin de participar en los programas que en tal sentido mantiene la OCDE, en especial el Convenio de Paris y el Convenio Suplementario de Bruselas, ya que ello permite que operen fondos internacionales de indemnización sobre los seguros privados y garantías estatales lo que redunda en una garantía adicional para la indemnización de daños que produzca un accidente nuclear.

V. REGULACIÓN Y FISCALIZACIÓN DE PROYECTOS NUCLEARES DURANTE SU CICLO DE VIDA, INCLUYENDO LA ATRIBUCIÓN DE COMPETENCIAS A ORGANISMOS O INSTITUCIONES PARA DICHAS TAREAS

1. Institucionalidad Regulatoria

1.1. Del órgano regulador nuclear

Un elemento fundamental de todo marco nacional aceptable para el desarrollo de la energía nuclear, es la creación de una institucionalidad dotada de las facultades legales y la competencia técnica necesaria para velar porque los explotadores de instalaciones nucleares y los usuarios de materiales nucleares y radiación ionizante lleven a cabo sus actividades con seguridad tecnológica y física.[323]

En este sentido, el artículo 8.1 de la Convención sobre Seguridad Nuclear (CSN), dispone que cada parte contratante debe constituir o designar un órgano regulador que se encargue de la aplicación del marco legislativo y reglamentario relativo a la seguridad de las instalaciones nucleares, velando porque éste se encuentre dotado de autoridad, competencia y recursos financieros y humanos adecuados para cumplir las responsabilidades que se le asignen.

[323] Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tonhauser W., *Manual de Derecho Nuclear*, Viena, OIEA, 2006. p. 27

Para dichos efectos, la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha señalado que para satisfacer las condiciones necesarias para la seguridad de las instalaciones y actividades nucleares, se deben cumplir, en el ámbito institucional y legal, los siguientes requisitos:

- Debe establecerse y mantenerse un órgano regulador que sea efectivamente independiente de las entidades u órganos encargados de promover las tecnologías nucleares o responsables de las instalaciones o las actividades;

- Debe encomendarse al órgano regulador las tareas de autorización, examen y evaluación reglamentarias, inspección y aplicación coercitiva, así como de establecer principios, criterios, reglamentos y guías de seguridad;

- Debe dotarse al órgano regulador de la autoridad y facultades apropiadas y debe velarse para que dicho órgano disponga de recursos humanos y financieros suficientes para cumplir las tareas que se le hayan asignado; y

- No debe asignarse al órgano regulador ninguna otra tarea que pueda comprometer o estar en conflicto con sus funciones de reglamentación de seguridad.[324]

Estas condiciones, por tanto, corresponden a los elementos mínimos que se debe tener presente al momento de desarrollar la energía nuclear, todos los cuales se pueden encontrar, además, en la legislación comparada que se analizó para la elaboración del presente informe.

1.2. Principios aplicables

La OEIA, aparte de identificar las condiciones que deben cumplirse en el ámbito institucional y legal para la seguridad de las instalaciones y actividades nucleares, ha establecido una serie de principios del derecho nuclear, de los cuales varios están referidos y son aplicables a la actividad y estructura del regulador nuclear.

- Principio de seguridad tecnológica: Conforme a este principio, el objetivo fundamental de todo régimen regulador es lograr el equilibrio entre los riesgos y las ventajas sociales.

[324] OIEA, *Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica de los desechos radioactivos y del transporte*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-R-1, Viena, 2000, p. 3 y ss.

- Principio de autorización: De acuerdo a este principio, el organismo regulador debe tener la potestad de determinar cuáles actividades serán consideradas como riesgosas para efectos de exigir o no una autorización o licencia específica.

- Principio de control continuo: Este principio indica que el organismo regulador debe conservar la facultad de control sobre las actividades nucleares de manera de velar por su ejecución tecnológica y físicamente segura, garantizándose con dicho fin la potestad de inspección de los funcionarios del organismo, ya sea en las instalaciones como en lugares asociados al ejercicio de la actividad.

- Principio de transparencia: La aplicación de este principio supone que todo aquél que participe del desarrollo, uso y regulación de la energía nuclear, entregue toda la información pertinente en relación con el uso de la energía nuclear, dándole especial énfasis a la ocurrencia de incidentes o hechos fuera de lo común que pongan en riesgo la salud pública, la seguridad tecnológica y el medio ambiente.

1.3. Independencia como atributo esencial del órgano regulador

Como se indicó, una de las características que la CSN exige a sus Estados miembros es adoptar "*…las medidas adecuadas para velar por una separación efectiva entre las funciones del órgano regulador y las de cualquier otro órgano y entidad a los que incumba el fomento o la utilización de la energía nuclear".*

Lo anterior responde a la necesidad de asegurar que dicho organismo, que tendrá a su cargo el cumplimiento de los estándares de seguridad tecnológica y física de las instalaciones, tenga la suficiente autonomía para tomar decisiones, y eventuales medidas coercitivas, sin interferencias o presiones de ningún tipo. Lo anterior, además, va de la mano de la necesaria credibilidad pública del órgano regulador, aspecto sustancial para lograr el apoyo ciudadano, la que descansa en la independencia tanto de otras organizaciones gubernamentales o grupos económicos que promueven tecnologías nucleares.[325]

1.3.1. Alcance de la independencia del órgano regulador

Dicha independencia del órgano regulador se manifiesta en dos ámbitos, [326] a saber:

- Independencia de la autoridad pública o gubernamental encargada de la dirección política en materia energética.

[325] OIEA, *Organización y plantilla del personal del órgano regulador para instalaciones nucleares.* Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-G-1.1, Viena, 2002, P. 3 y ss.
[326] Morales Plaza Antonio, *La regulación nuclear globalizada¸* Madrid, La Ley, 2009, p. 82 y ss.

Esto supone, por un lado, independencia funcional con el responsable de la política energética, entendida como el respeto y acatamiento recíproco de las competencias legalmente asignadas a cada organismo y que, conjuntamente, constituyen el sistema regulador. Por el otro lado, implica independencia financiera y de recursos humanos, entendida como la capacidad legal para arbitrar las disposiciones necesarias en orden a disponer de los recursos para el cumplimiento de sus obligaciones.

En este sentido, es necesario que el sistema político asegure una separación clara y efectiva de las responsabilidades y los deberes entre el órgano regulador y las organizaciones que promueven o apoyan el desarrollo de las tecnologías nucleares, de modo de evitar, en lo posible, influencias o presiones políticas indebidas en la toma de decisiones relativas a la seguridad tecnológica y asegurar la adecuada protección del trabajador, el público y el medio ambiente frente a riesgos excesivos de radiación ionizante[327].

- Independencia de los titulares de las instalaciones

En este plano, la independencia es entendida como el respeto y aceptación recíproca de las responsabilidades de cada parte, basada en relaciones fluidas y rigurosas, sin injerencias indebidas en el proceso de elaboración de criterios o toma de decisiones en el regulador, sin que lo anterior implique una relación de antagonismo con los explotadores, ni con ningún otro grupo[328].

1.3.2. Mecanismos para asegurar la independencia del órgano regulador

La legislación comparada y la doctrina han señalado diversas formas o mecanismos que se han estimado permiten lograr la independencia del órgano regulador nuclear. Estas se pueden manifestar en el diseño institucional, la forma de nombramiento o destitución de sus miembros, su financiamiento, entre otros factores.

Sin embargo, es preciso dejar establecido que no es posible lograr una independencia total y absoluta de los organismos reguladores respecto de la institucionalidad pública, ya que finalmente los reguladores se encuentran insertos dentro de un diseño público que supone relaciones con otros organismos del Estado para el ejercicio de sus funciones. Lo que se pretende lograr, es alcanzar niveles de autonomía que

[327] OIEA, *Organización y plantilla del personal del órgano regulador para instalaciones nucleares*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-G-1.1, Viena, 2002, p. 4 y ss.
[328] OIEA, *Organización y plantilla del personal del órgano regulador para instalaciones nucleares*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-G-1.1, Viena, 2002, p. 6. Se requiere trabajo de las citas en este capítulo. En este caso es claro el uso de *idem.*

permitan asegurar, de manera eficaz, el ejercicio de las potestades de regulación y control.

Para dicho efecto, no existen soluciones únicas, ya que esto dependerá de la realidad nacional, institucional e incluso política de cada país.

A continuación, se efectuará un breve análisis de los mecanismos dirigidos a lograr o asegurar la autonomía de organismos reguladores.

1.3.2.1. Designación de los titulares del organismo regulador

Uno de los mecanismos utilizados para asegurar la independencia del órgano, corresponde a establecer procedimientos especiales para la designación del titular del órgano.

Si bien la forma de su designación no es el único elemento que permite asegurar la independencia del organismo, revela la percepción y relevancia que le asigna el Estado respecto de la función de garantizar la seguridad tecnológica[329].

En este sentido, es necesario asegurar que las personas nominadas no respondan únicamente al gobierno de turno sino que cumplan con las capacidades e independencia necesarias para su ejercicio. Para dicho fin, se establecen fórmulas donde participan en la designación diversos organismos del Estado, en general, el Poder Ejecutivo en coordinación con el Congreso Nacional.

Para tales efectos, muchos países han optado por establecer una "asincronía" entre los mandatos de los jefes de los órganos reguladores y los de los sucesivos gobiernos, contribuye a excluir a estos órganos de los vaivenes del juego político partidista[330].

1.3.2.2. Remoción de los titulares del órgano regulador

Otro mecanismo que permite entregar mayores niveles de independencia es a través de la limitación en la facultad de remover a los Jefes de servicio, disponiendo para ello causales determinadas previamente por el legislador, impidiendo su destitución, por tanto, en forma discrecional por el Poder Ejecutivo.

Según ha planteado la doctrina, la independencia se ve menguada de manera importante si un organismo es dirigido por personas que pueden ser removidas de su

[329] Ibídem, p. 29
[330] Magide Herrero Mariano, *Límites constitucionales de las administraciones independientes*, Madrid, INAP, 2000, p. 97 y ss.

cargo de manera discrecional, cualesquiera que fuesen las garantías funcionales de su independencia.

1.3.2.3. Estructura del órgano regulador

Parece haber consenso en la doctrina en torno a que el carácter colegiado del órgano sobre el que recae la dirección del organismo regulador y las decisiones de mayor trascendencia, presenta indudables ventajas para la salvaguardia de la neutralidad que se predica de estos organismos. Así ocurre, por ejemplo, en el caso de EE.UU.

Lo anterior obedece al hecho que el órgano colegiado está en una mejor posición de soportar las presiones, tanto de las instancias políticas como de los administrados interesados, que un órgano unipersonal.

Adicionalmente, la estructura colegiada permite trasladar al interior de la organización un cierto pluralismo que puede contribuir a la neutralización política del mismo. Por último, cabe considerar que la colegialidad contribuye a evitar que los nuevos gobiernos puedan "tomar" fácilmente la organización con motivo de la renovación de sus órganos rectores[331], teniendo en cuenta el sistema de renovaciones parciales al que hicimos referencia.

1.3.2.4. Competencia técnica del órgano regulador

El órgano regulador debe estar dotado de competencia técnica en forma autónoma en los aspectos asociados a sus responsabilidades en materia de seguridad. Una organización encargada de tomar decisiones técnicas complejas debe disponer de expertos capaces de tomarlas por sí mismos o de evaluar las tomadas por otros. Si un organismo regulador depende enteramente de evaluaciones hechas por terceros, su independencia puede verse menguada[332]. Para dichos efectos, la dirección del órgano regulador debe estar en condiciones de contratar personal con las aptitudes y los conocimientos técnicos que considere necesarios para desempeñar las funciones del órgano regulador[333].

1.3.2.5. Financiamiento del órgano regulador

Otro elemento relevante para dotar de altos niveles de independencia del órgano regulador, es asegurar los recursos económicos necesarios para llevar a cabo sus funciones de manera adecuada.

---

[331] Ibídem, p. 110 y ss.
[332] Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tonhauser W., *Manual de Derecho Nuclear*, Viena, OIEA, 2006, p. 30
[333] OIEA, *Organización y plantilla del personal del órgano regulador para instalaciones nucleares*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-G-1.1, Viena, 2002, p. 5

El suministro de los recursos financieros, por tanto, debe ser suficientemente predecible, seguro, adecuado y no estar expuestos a presiones indebidas de entidades externas[334].

A fin de satisfacer estos requisitos, la OIEA recomienda adoptar disposiciones específicas mediante la aplicación de la legislación pertinente o mediante el sistema fiscal nacional.

Por su parte, un sector de la doctrina ha sugerido que en cuanto el régimen presupuestario, se permitiese al órgano proponer directamente al Parlamento su proyecto de presupuesto, o que al menos previese que el envío del proyecto de presupuesto al Ministerio de Hacienda o al Gobierno, se efectúa para el solo efecto de incorporarlo en el proyecto de Ley de Presupuesto[335]. Con todo, el régimen presupuestario va a depender de una serie de elementos y factores, entre los cuales se encuentran los siguientes[336]:

a) Precedentes nacionales para la financiación de otros órganos reguladores;
b) Tipos y magnitud de las instalaciones reguladas; y
c) Estructuración del órgano regulador: funcionamiento independiente, parte de una organización mayor, o con funciones y responsabilidades divididas entre dos o más organismos gubernamentales.

Otra figura sugerida por la OIEA, para dotar al órgano regulador de mayores niveles de autonomía financiera, es que parte de sus recursos provengan de la recuperación de costos de los explotadores, como ocurre en el caso argentino. De esta forma, por ejemplo, los gastos de preparación de una licencia, examen y evaluación, inspección y elaboración de reglamentos y guías, podrían recuperarse mediante tasas, mientras que otras actividades del órgano regulador, como la participación en actividades internacionales, podrían ser financiadas por otros medios.

Cuando el órgano regulador imponga tasas por licencias, se ha recomendado evitar una vinculación directa entre los fondos obtenidos y el presupuesto del órgano regulador. Por ejemplo, las tasas podrían canalizarse hacia un fondo nuclear establecido con este propósito, o directamente hacia la hacienda pública.

---

334 Ídem
335 Magide Herrero Mariano, *Límites constitucionales de las administraciones independientes*, Madrid, INAP, 2000, p. 112 y ss.
336 OIEA, *Organización y plantilla del personal del órgano regulador para instalaciones nucleares*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-G-1.1, Viena, 2002, p. 6

Lo anterior, permite contrarrestar las objeciones que se hagan contra la independencia del órgano regulador, para prevenir abusos, o incluso la apariencia de abusos por parte del órgano regulador. Las multas impuestas en los procesos coercitivos no deberían utilizarse para la financiación del órgano regulador[337].

1.4. Estructura u organización del órgano regulador

El órgano regulador debe estructurarse de un modo que garantice su capacidad para cumplir sus tareas y funciones con eficacia y eficiencia. Debe tener una estructura organizativa y amplitud proporcionadas a la magnitud y naturaleza de las instalaciones y actividades que haya de reglamentar, estar dotado de los recursos adecuados y las facultades necesarias para poder cumplir sus funciones. Existen, de este modo, determinados elementos mínimos que debe necesariamente contemplar cualquier órgano regulador de energía nuclear. En este sentido, en todos los países revisados, se pudo advertir y reconocer estos elementos comunes y que son satisfechos por el marco jurídico internacional.

Sin embargo, la forma específica que esto se traduce, es decir, su estructura y amplitud, dependen de muchos factores, por lo que no es posible establecer un único modelo organizativo[338].

Para determinar la mejor estructura para un Estado concreto se requiere una cuidadosa evaluación de múltiples factores, tales como: la naturaleza del marco jurídico nacional, las actitudes y tradiciones culturales del Estado, la organización y los procedimientos administrativos en vigor, y los recursos técnicos, financieros y humanos disponibles en ese Estado.[339]

Así, en países con un extenso programa nuclear, el organismo regulador está encabezado por un grupo de comisionados dotados de un alto grado de autonomía (Estados Unidos, Francia, Canadá). En países pequeños, con programas nucleares más modestos, los comisionados no son tan comunes y la dependencia de Ministerios u otras Agencias Estatales constituye la regla general.[340]

Si el órgano regulador está compuesto por más de una autoridad, deben adoptarse mecanismos que permitan claramente definirlos y coordinarlos, a fin de evitar omisiones o duplicaciones innecesarias. El diseño de un organismo regulador implica,

---

[337] Ídem

[338] OIEA, *Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica de los desechos radioactivos y del transporte*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-R-1, Viena, 2000, P. 10

[339] Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tonhauser W., *Manual de Derecho Nuclear*, Viena, OIEA, 2006, p. 27

[340] STUK, *Marco Regulador Nuclear: Experiencia internacional*. Estudio de la Comisión Nacional de Energía de Chile, 2009, p. 25

por ello, coordinar en forma eficaz las autoridades responsables de las distintas disciplinas que interesan en el proceso de reglamentación, tales como las encargadas de la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radioactivos y del transporte.[341]

1.5. Modelos Institucionales Identificados

A partir del análisis de la experiencia comparada, se ha podido identificar una serie de criterios comunes y modelos institucionales, que son útiles a la hora de implementar un programa de generación nucleoeléctrica en el país, los que se describen a continuación.

1.5.1. Dependencia o supervisión de ministerios u otras entidades estatales

En lo que respecta a la dependencia o supervisión que puede experimentar el órgano regulador respecto de uno o más ministerios o departamentos del Estado, podemos distinguir, si tomamos como referencia el marco institucional de los organismos reguladores de los países de la OCDE, dos aproximaciones[342]:

1.5.1.1 Organismos reguladores no directamente dependientes del gobierno

Una de las transformaciones más interesantes que ha surgido en las dos últimas décadas en el ámbito del derecho administrativo, ha sido la consolidación de un modelo de supervisión de determinados sectores o ámbitos de actividad que gira alrededor de la creación de organismos especializados al margen de la estructura ministerial.

Estos organismos, habitualmente denominados *Organismos Reguladores Independientes* (ORI), han sido definidos como organizaciones administrativas de carácter institucional, no representativas, que desarrollan funciones propias de la administración activa y que están configuradas legalmente de forma tal que el Gobierno y el resto de la Administración gubernativa carecen de las facultades de dirección que configuran típicamente su relación con la Administración institucional instrumental, y ello con la finalidad de neutralizar políticamente una actividad integrada en la órbita del poder ejecutivo[343].

La "neutralización política" supone que el ejercicio de su función no resulte permeable a las decisiones de las autoridades públicas responsables de asuntos de interés

[341] OIEA, *Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica de los desechos radioactivos y del transporte*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-R-1, Viena, 2000, p. 10
[342] Morales Plaza Antonio, *La regulación nuclear globalizada¸* Madrid, La Ley, 2009, p. 84 y ss.
[343] Magide Herrero Mariano, *Límites constitucionales de las administraciones independientes*, Madrid, INAP, 2000, p. 33

general. Ello no implica que la actividad desarrollada por dichos organismos sea políticamente *neutra*, pues, salvo algunos casos, tienen asignado un objetivo predeterminado e inamovible que presenta también un carácter público. Lo que se pretende es que sus decisiones y gestiones no queden subordinadas a otros intereses generales, que pudieran desviar y afectar el ejercicio adecuado de sus funciones[344].

La doctrina ha consignado la existencia de ventajas y desventajas vinculadas con la adopción del sistema de los ORI. Las ventajas que se señalan son fundamentalmente dos[345]:

i) Altos grados de especialización en la materia supervisada, con personal técnicamente preparado y dedicación permanente.

ii) Su independencia de juicio y decisión, que contrasta con la parcialidad propia de las autoridades políticas del Estado.

Como inconvenientes asociados a los ORI se mencionan los siguientes:

i) La pretendida independencia puede constituir una debilidad cuando el ORI no desarrolla una política con fuerte respaldo popular. Frente a críticas o dificultades, el aislamiento del poder político puede llevar al ORI a adoptar una actitud pasiva y conservadora.

ii) Se ha criticado su afán por evitar conflictos, litigios o intervenciones de los poderes legislativo o ejecutivo. Este afán los habría llevado, por una parte, a ceder y pactar con los sujetos regulados y, por la otra, a fijar reglas sencillas y fáciles de aplicar en un procedimiento, aunque muchas veces no sean las más ajustadas.

iii) Por parte de algunos autores, se ha identificado cierta tendencia de los ORI a ser capturados o cautivados por los sujetos a quienes regulan (*captura del regulador*).

En lo que respecta a la regulación de la actividad nuclear, los países que siguen este enfoque se inspiran en el diseño institucional de la *National Regulatory Commission* estadounidense (NRC). Éste, corresponde a un órgano regulador que reporta directamente al Presidente, y que se erige como la contraparte del Departamento de Energía, entidad encargada de promover la energía nuclear, equivalente a nuestro Ministerio de Energía.

[344] Morales Plaza Antonio, *La regulación nuclear globalizada¸* Madrid, La Ley, 2009, p. 73 y ss.
[345] Ariño Ortiz Gaspar, *Teoría y práctica de la regulación para la competencia*. Working paper N° 17. 2005, p. 33 y ss.

Entre los países que han decidido adoptar este modelo se encuentran España, cuyo Consejo de Seguridad Nuclear aparece directamente inspirado en la NRC; Argentina, donde la Autoridad Regulatoria Nuclear es un ente autárquico bajo jurisdicción de la Presidencia de la Nación; y recientemente Francia, aunque en este caso algunas de las decisiones del órgano regulador tienen que ser homologadas por los Ministerios encargados de la seguridad nuclear o la protección radiológica.

1.5.1.2 Organismos reguladores que dependen o son supervisados por uno o varios ministerios o departamentos del gobierno

Este modelo se puede encontrar en muchos de los países analizados (Brasil, Finlandia, Suecia, Alemania, entre otros).

En este caso, el organismo regulador se inserta dentro de la estructura administrativa de otra entidad (generalmente, un Ministerio), es decir, supervisado por ella. Si bien, esto implica necesariamente formar parte de la estructura del Poder Ejecutivo, ello no se traduce, necesariamente, en que el organismo carezca de independencia en las materias relevantes para el ejercicio de sus funciones, ya que el propio marco jurídico, separa el ejercicio de las potestades regulatorias más relevantes.

Por ello, es necesario asegurar que no se interfiera en materias asociadas al ejercicio, en este caso, en materias de seguridad tecnológica, de modo de asegurar efectivamente su autonomía en el proceso de toma de decisiones[346].

Esta figura se ha considerado una alternativa válida por la OIEA, conforme se desprende del documento *"Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica de los desechos radioactivos y del transporte"*[347].

1.5.2. Concentración de todas las facultades en un solo órgano regulador

En algunos de los países analizados, la agencia encargada del ejercicio de las funciones regulatorias y fiscalizadoras, funciona separadamente del ministerio u órgano encargado de expedir las licencias y permisos relacionados con instalaciones nucleares.

Este es el caso, por ejemplo, de Finlandia, país donde se le encarga al Ministerio de Comercio e Industria (KTM) la responsabilidad asociada a la dirección y el control de los asuntos nucleares y de coordinar el procedimiento de otorgamiento de permisos relativos a instalaciones nucleares. A su turno, la Autoridad Radiológica y de

[346] Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tonhauser W., *Manual de Derecho Nuclear*, Viena, OIEA, 2006, p. 29
[347] OIEA, *Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica de los desechos radioactivos y del transporte*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-R-1, Viena, 2000, p. 6

Seguridad Nuclear (STUK), es la agencia regulatoria encargada de evitar los efectos dañinos de la radiación, el uso seguro de la energía nuclear y de la radiación, llevar a cabo investigaciones sobre protección radiológica y proporcionar información y entrenamiento en relación con sus áreas de interés.

De este modo, STUK es una entidad regulatoria independiente, que se vincula administrativamente con el gobierno por intermedio del Ministerio de Asuntos Sociales y de Salud. Sin perjuicio de lo anterior, este órgano regulador tiene relaciones con otros ministerios, tales como el Ministerio de Comercio e Industria, el Ministerio del Interior y el Ministerio de Relaciones Exteriores.

Una situación similar se presenta en España, donde la función reguladora está distribuida en diversos organismos. El Gobierno está a cargo de la política energética y anuncia las regulaciones obligatorias. El Ministerio de Turismo, Industria y Comercio otorgan los permisos relacionados con las instalaciones nucleares y presenta las propuestas para el desarrollo de las actuales regulaciones. El Consejo de Seguridad Nuclear, por su parte, proporciona informes obligatorios sobre seguridad radiológica y nuclear[348] / [349].

Contrastan con las realidades descritas modelos como el de Canadá y Estados Unidos, en los cuales, tanto las funciones regulatorias y normativas, como las vinculadas al otorgamiento de permisos en materia nuclear son encomendadas a una sola entidad de mayor tamaño, en divisiones separadas[350].

1.5.3. Centralización de las funciones del órgano regulador

En la gran mayoría de los países analizados, las funciones del órgano o los órganos reguladores se encuentran centralizadas, es decir, son ejercidas en todo el territorio del Estado[351], inclusive en países Federales como Brasil.

Una excepción notable a esta situación es el caso de Alemania, país de estructura federal, en que los *Länder* o estados federales – juntos con sus agencias – ostentan importantes competencias en materia de regulación nuclear[352]. Los deberes

[348]STUK, *Marco Regulador Nuclear: Experiencia internacional*. Estudio de la Comisión Nacional de Energía de Chile, 2009, p. 23

[349] Universidad Adolfo Ibañez y SENES Consultants Limited, *Roles del Estado y del sector privado en la regulación nucleoeléctrica: Experiencia comparada aplicable a Chile.* Estudio preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile, 2008, p. 162

[350] Ídem

[351] Morales Plaza Antonio, *La regulación nuclear globalizada,* Madrid, La Ley, 2009, p. 90.

[352]OCDE, *Informe de Estado sobre filosofía de inspección reguladora, prácticas de inspección y organización de inspección*. Grupo de trabajo sobre prácticas de inspección (WGIP), NEA/CNRA/R (2001) 8, París, 2001.

administrativos – licenciamiento y supervisión – no soportados por las autoridades federales, son ejercidos por las autoridades de los *Länder* a nombre del *Bund*, siempre bajo la supervisión legal y técnica del Ministro Federal de Medioambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear.

Con el propósito de ejecutar la normativa de protección radiactiva y seguridad nuclear, los *Länder* designan las autoridades responsables de acuerdo a sus propias reglas de determinación de competencias. Los *Länder* están investidos de la facultad de hacer regulaciones administrativas para la ejecución de la ley de protección nuclear y radiactiva. En caso de diferencias de opinión entre las autoridades de los *Länder,* competentes para el otorgamiento de licencias, y una agencia federal, las primeras se encuentran obligadas a recabar instrucciones del Ministro Federal de Medioambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear.

Otro caso excepcional es el estadounidense, dada la regulación por parte de los gobiernos estatales de ciertos aspectos de la energía nuclear, teniendo la responsabilidad preliminar en materia de planes de emergencia. La NRC puede firmar acuerdos con un estado para renunciar a una porción de su jurisdicción sobre ciertos materiales nucleares y actividades. En la actualidad existen 34 acuerdos estatales[353].

1.5.4. Disponibilidad de personal propio por parte de los órganos reguladores

Otro elemento relevante que incide en el marco institucional de este tipo de organismos, se refiere a la disponibilidad de personal propio para desarrollar las valoraciones técnicas, o empleo personal de otras organizaciones, o asesores externos.

En relación con este asunto, existen también, fundamentalmente, dos aproximaciones[354] y que analizamos a continuación.

1.5.4.1. Órganos reguladores que recurren a Organizaciones Técnicas de Soporte

Existen organismos reguladores que requieren del apoyo de Organizaciones Técnicas de Soporte para efectuar evaluaciones de seguridad y actividades de inspección dedicadas.

[353] Universidad Adolfo Ibañez y SENES Consultants Limited, *Roles del Estado y del sector privado en la regulación nucleoeléctrica: Experiencia comparada aplicable a Chile.* Estudio preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile, 2008, p. 28

[354] Morales Plaza Antonio, *La regulación nuclear globalizada¸* Madrid, La Ley, 2009, p. 84

Buenos ejemplos de dichas organizaciones son el IRSN, que brinda respaldo a la ASN en Francia, y el Centro de Investigación Técnica de Finlandia (VTT), que respalda al órgano regulador STUK[355].

1.5.4.2. Órganos reguladores que disponen de un cuerpo técnico propio

Sin embargo, en la mayoría de los países (Suecia, España, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Suiza, etc.) los organismos reguladores disponen de un cuerpo técnico propio, aunque recurren en mayor o menor medida a contrataciones externas para complementar las competencias disponibles internamente.

En relación con estas externalizaciones de servicios, cabe reiterar lo señalado a propósito de la organización del órgano regulador:

- Deben adoptarse los recaudos necesarios para cerciorarse de que los consultores o asesores son efectivamente independientes de los explotadores; y

- La utilización de servicios de consultores o asesorías, no debe eximir al órgano regulador de ninguna responsabilidad. En particular, el órgano regulador no deberá delegar la responsabilidad que le incumbe de adoptar decisiones y formular recomendaciones[356].

2. Análisis de las potestades de los órganos reguladores nucleares

2.1. Marco teórico de las potestades públicas

2.1.1. De la supervisión administrativa

Tradicionalmente se ha afirmado que la función propia de los órganos reguladores se enmarca dentro del concepto de supervisión administrativa, entendida como "*la actividad de la Administración limitativa de la libertad de los administrados, mediante la cual se pretende garantizar que los sujetos privados, o públicos que actúan en régimen de Derecho Privado, que operan en un determinado sector o desarrollan una determinada actividad se ajusten en su actuación a lo establecido en la ordenación de dicho sector o actividad*"[357].

---

[355] STUK, *Marco Regulador Nuclear: Experiencia internacional*. Estudio de la Comisión Nacional de Energía de Chile, 2009, p. 24

[356] OIEA, *Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica de los desechos radioactivos y del transporte*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-R-1, Viena, 2000, p. 10

[357] Magide Herrero Mariano, *Límites constitucionales de las administraciones independientes*, Madrid, INAP, 2000, p. 324 y ss.

El desempeño de esta función supone la atribución a los órganos reguladores de una serie de potestades o facultades, las cuales determinan, en definitiva, la forma y la intensidad con que ejercen la supervigilancia de los sujetos regulados.

En este sentido, la labor de los órganos reguladores suele basarse en un control previo, a través del ejercicio de potestades de autorización, en un seguimiento de la actividad, mediante el ejercicio de facultades de fiscalización e inspección, en la posibilidad correctora de imponer mandatos imperativos, y en un control represivo, mediante el ejercicio de la potestad sancionatoria[358].

2.1.2. Concepto de potestad administrativa

Las potestades administrativas han sido definidas como poderes jurídicos reconocidos en el ordenamiento jurídico a los órganos de la Administración del Estado. Las potestades administrativas son entregadas a los órganos de la Administración del Estado para satisfacer los intereses públicos puestos bajo su órbita competencial, supuesto que justifica la exorbitancia de su contenido y su fuerza coactiva en su ejercicio[359].

Según ha sostenido la doctrina, la potestad administrativa tiene los siguientes elementos[360]:

a. Entraña un poder otorgado por el ordenamiento jurídico

Todas las potestades públicas deben ser válidamente otorgadas por el ordenamiento jurídico, supuesto previo y necesario para su ejercicio.

En consecuencia, no existen tipos abstractos o puros de potestades, sino únicamente potestades concretas, tal como las construye la norma que las crea; no existen potestades ilimitadas u omnímodas, toda vez que las potestades en ningún caso implican un poder de acción libre, según la voluntad de quien las ejerce, sino un poder limitado y controlado; y, por último, permiten producir indefinidamente efectos jurídicos, pues ello es posible mientras la potestad subsista.

---

358 Ídem.

359 Ferrada Bórquez Juan Carlos, "*Las potestades y privilegios de la administración pública* en el régimen administrativo chileno" en "*Revista de Derecho (Valdivia)*", Vol. XX, N°2, Diciembre 2007, p. 76.

360 Carmona Santander Carlos, *Unidad V: El principio de legalidad*. Apuntes de clases Universidad de Chile, 2005, p. 17 y ss.

b. El poder que implica la potestad es funcional

Esto implica, en primer lugar, que las potestades se entregan para cumplir una función específica, asociadas a un fin definido por el legislador, del cual su titular no puede apartarse, elementos que explican y fundan el ejercicio de dicha potestad.

Por otra parte, las potestades se otorgan para cumplir un fin, para satisfacer un interés o una necesidad ajena al titular de la misma. Ello exige excluir los motivos personales como fines que justifican su ejercicio.

Finalmente, el carácter teleológico de las potestades exige que éstas deban extremarse, pues hay de por medio la satisfacción de una necesidad pública.

c. Obligación de soportar el ejercicio de la potestad

Para los ciudadanos, la potestad supone el deber de soportar en su esfera los efectos que genere su implementación. La potestad habilita a su titular para imponer conductas a terceros mediante la constitución, modificación o extinción de relaciones jurídicas.

d. Ejercicio obligatorio de la potestad

La Administración está obligada al ejercicio de sus potestades. Desde luego, porque satisfacen necesidades públicas, por lo que su no ejercicio implica quebrantar el deber jurídico que debe cumplir el organismo público, en tanto entraña la satisfacción del bien común. Por ello, la omisión y la falta de servicio pueden acarrear responsabilidad del Estado, si a consecuencia de ello se genera daño para los derechos de una persona.

2.1.3. Sistematización de las potestades administrativas de los órganos reguladores nucleares

Para efectos de este Estudio, hemos realizado una sistematización de las potestades ejercidas por los órganos reguladores de los distintos países analizados, durante todas las etapas que comprenden el ciclo de vida nuclear, con el objeto de determinar qué factores inciden en la configuración de éstas facultades, cómo se manifiestan en las distintas fases del referido ciclo de vida, y de qué forma son ejercidas por los órganos reguladores de los países analizados.

2.1.3.1. Potestades autorizatorias

De acuerdo con García de Enterría y Fernández[361], por intermedio de la técnica autorizatoria una actividad privada es consentida por la Administración, previa valoración de la misma, a la luz del interés público que la norma aplicable en cada caso pretende tutelar.

La intervención de la Administración Activa, por vía de consentimiento del ejercicio de la actividad, se configura siempre como requisito necesario de dicho ejercicio, que, de otro modo, o bien no podría desplegarse válidamente, o bien se vería privado de efectos jurídicos.

La autorización se perfila como un acto de la Administración por el que ésta consiente, respecto de un particular, el ejercicio de una actividad privada, aunque inicialmente prohibida, con fines de control administrativo de su ejercicio, constituyendo al propio tiempo la situación jurídica correspondiente.

2.1.3.2. Potestades reguladoras o normativas

La potestad reguladora o normativa es una de las más intensas del ordenamiento jurídico, ya que implica otorgar a los órganos de la Administración del Estado un poder excepcional de creación concurrente del ordenamiento jurídico y no sólo de sujeto del mismo[362].

En virtud de esta potestad, los órganos reguladores pueden dictar normas de general aplicación a sus sujetos controlados, tales como instrucciones o circulares. Según ha señalado la doctrina nacional, la potestad normativa de esta clase de entes presenta las siguientes particularidades[363]:

- Debe emanar de una clara disposición de la ley, siendo siempre una potestad reglada.

- No puede invadir el ámbito o el conjunto de materias que la Constitución ha reservado a la ley. Tampoco puede contradecir las normas que dicta el Presidente de la República en ejercicio de su potestad reglamentaria.

---

[361] García de Enterría Eduardo y Fernández Tomás-Ramón, *Curso de Derecho Administrativo*, Tomo II, Madrid, Thomson-Civitas. Novena edición, p. 133.
[362] Ferrada Bórquez Juan Carlos, "Las potestades y privilegios de la administración pública en el régimen administrativo chileno" en "*Revista de Derecho (Valdivia)*", Vol. XX, N°2, Diciembre 2007, p. 78
[363] Carmona Santander Carlos, *Unidad VI: El principio de control: 1. La dimensión activa*, Apuntes de clases. Universidad de Chile, 2005, p. 15 y ss.

- La gran mayoría de las normas dictadas en su ejercicio son de tipo técnico.

- Las normas dictadas en virtud de esta potestad son obligatorias para sus destinatarios, quienes desarrollan su actividad con sujeción a ellas.

2.1.3.3. Potestades fiscalizadoras

El control de la Administración respecto de actividades privadas emana del llamado poder de policía, el que consiste en controlar que la actividad de los particulares se ajuste a los fines de utilidad pública, lo que se puede hacer tanto en forma preventiva, en ejercicio de sus potestades fiscalizadores, como en forma represiva, esto es, una vez ocurrida la trasgresión la conducta reprochable. Esta última forma de policía conlleva el ejercicio de la potestad sancionadora de la administración, aplicando principios del Derecho Administrativo Sancionador[364].

La potestad fiscalizadora es, fundamentalmente, un control de legalidad, es decir, busca evitar que los sujetos fiscalizados infrinjan las disposiciones legales, reglamentarias y técnicas o que no cumplan las instrucciones y órdenes que se impartan.

Con arreglo a la doctrina, las facultades fiscalizadoras de los órganos reguladores pueden agruparse en cinco grandes categorías: facultades para examinar documentos, facultades para requerir información, facultades para realizar visitas de inspección, facultades para formular exigencias y facultades para citar a declarar[365].

2.1.3.4. Potestades Sancionatorias

La doctrina nacional define la sanción administrativa como "*el castigo aplicado por una autoridad, (por lo general administrativa) en uso de sus facultades legales, en razón del incumplimiento de un deber impuesto por una norma*"[366].

Cinco son los elementos respecto de los cuáles se construye la sanción administrativa: (i) que la sanción sea aplicada por un órgano de la administración; (ii) la sanción consiste en la imposición de una medida que signifique la privación de un derecho preexistente o la imposición de un nuevo deber; (iii) debe existir una conducta antijurídica; (iv) la sanción administrativa persigue restablecer el orden previamente

[364] Rivero Ortega Ricardo, *Introducción al Derecho Administrativo Económico,* 2000*.,* pp.58-59
[365] Ídem
[366] Evans Espiñeira Enrique: "La sanción administrativa y la regulación de las actividades económicas. Efectos de un cambio en la jurisprudencia constitucional". Ponencia presentada en las XXXVI Jornadas Chilenas de Derecho Público, p. 5

quebrantado por la acción del trasgresor; y (v) la sanción se establece mediante procedimiento administrativo[367].

2.1.3.5. Potestades de información

Entendemos por potestades de información, aquéllas que demandan de un organismo público determinadas acciones destinadas a brindar conocimiento generalizado de los hechos o materias previstos en una norma jurídica.

2.1.3.6. Potestades de coordinación

El ejercicio de potestades de coordinación supone metodizar, ordenar, arreglar y disponer lo conveniente para que la entidad pública cumpla sus funciones de manera integrada y en adecuada correlación y armonía con las funciones y competencias relacionadas de otros órganos del Estado.

2.2. Potestades del órgano regulador nuclear a la luz de los convenios internacionales

Las características y facultades mínimas que todo órgano regulador debe poseer a la luz de los instrumentos de vigencia internacional, se recogen primordialmente de las disposiciones de convenios existentes bajo el alero de la Organización de Naciones Unidas (ONU) y de su principal organismo en la materia, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OEIA). Conviene señalar, que conforme a nuestra Constitución Política, es deber del Estado y sus órganos promover y proteger los derechos y obligaciones consagrados en los tratados ratificados y vigentes, lo que se debe plasmar necesariamente en la adopción de normas nacionales coherentes con sus contenidos y exigencias.

2.2.1 Potestades autorizatorias

La Convención de Seguridad Nuclear (en adelante "la Convención"), ratificada y vigente en Chile, establece en su artículo 7 que cada Parte Contratante debe establecer y mantener un marco legislativo y reglamentario que rija la seguridad de las instalaciones nucleares, lo que, conforme con el artículo 8.1, debe estar a cargo de un órgano regulador con suficiente autoridad, competencia y recursos tanto financieros como humanos. El artículo 7.2 requiere que el marco legal y regulatorio establezca un sistema de otorgamiento de licencias relativas a las instalaciones nucleares, así como

[367] Mensaje de S.E. el Vicepresidente de la República con el que se inicia un proyecto de ley que modifica la ley Nº 18.410, Orgánica de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y el DFL Nº 1, de 1982, de Minería, ley general de servicios eléctricos, con el objeto de fortalecer el régimen de fiscalización del sector. (boletínNº 2279-08), de 1998.

de prohibición de la explotación de una instalación nuclear carente de licencia. Si bien la Convención entrega al titular de la licencia la responsabilidad en cuanto a la seguridad de la instalación nuclear, es tarea de cada Parte Contratante el velar *a priori* porque una instalación nuclear cumpla con los requisitos mínimos de seguridad. Este control preventivo, de acuerdo a la Convención, deberá comprender la evaluación de:

(i) Todos los factores significativos relacionados con el emplazamiento, que probablemente afecten a la seguridad de una instalación nuclear a lo largo de su vida prevista.
(ii) Las probables consecuencias sobre la seguridad de las personas, de la sociedad y del medio ambiente de una instalación nuclear proyectada.

La Convención exige que se diseñen y construyan instalaciones con niveles de seguridad y métodos confiables de protección contra la emisión de materias radiactivas. Del mismo modo, el ejercicio de esta potestad comprende un análisis de las tecnologías adoptadas en el diseño y la construcción de las instalaciones, las que deben ser de reconocida experiencia o verificadas mediante pruebas y análisis. A su vez, se deberá tomar en cuenta el diseño de la instalación en base a la interfaz persona–máquina, con miras a asegurar una explotación confiable, estable y fácilmente controlable[368].

Con respecto a la explotación de la instalación nuclear, la potestad autorizatoria comprende la realización un análisis inicial que abarque la seguridad y un programa de puesta en servicio que demuestre que la instalación ya construida, se ajusta a los requisitos de diseño y seguridad impuestos al autorizarse su construcción.

Por su parte, la Convención Sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN), ratificada y vigente en Chile, que regula la utilización y transporte internacional, así como la utilización, almacenamiento y transporte nacional, de materiales nucleares con fines pacíficos, establece en su artículo 4° la prohibición a los Estados Parte de autorizar la exportación de materiales nucleares a otros países, a menos que se compruebe la aplicación de estándares o niveles de protección dispuestos en el Anexo I de la Convención. A su vez, tampoco se permite la importación ni la autorización a la importación de materiales nucleares desde un Estado que no sea parte de la Convención, a menos que se comprueben los niveles de protección física descritos en el anexo ya indicado. Bajo los mismos términos, tampoco podrá autorizarse el tránsito por su territorio (marítimo, terrestre o aéreo) de materiales nucleares transportados entre Estados que no son parte de la Convención.

[368] Art. 18 de la Convención de Seguridad Nuclear.

2.2.2. Potestades reguladoras o normativas

En lo que respecta al ejercicio de la potestad reguladora o normativa, la Convención señala en su artículo 8°, párrafo 1, que *"Cada Parte Contratante, constituirá o designará un órgano regulador que se encargue de la aplicación del marco legislativo y reglamentario a que se refiere el artículo 7(...)."*

En este sentido, la Convención establece dentro de sus objetivos el de conseguir y mantener un alto grado de seguridad nuclear en todo el mundo, a través de la mejora de medidas nacionales, establecer y mantener defensas eficaces en las instalaciones nucleares contra potenciales riesgos radiológicos, a fin de proteger a las personas, la sociedad y al medio ambiente.

Por su parte, el artículo 2° de la Convención define al "órgano regulador" como "cualesquier órgano u órganos dotados por esa Parte Contratante de facultades legales para otorgar licencias y establecer reglamentos sobre emplazamiento, diseño, construcción, puesta en servicio, explotación o clausura de las instalaciones nucleares".

En consecuencia, la potestad regulatoria del órgano regulador se comprende básicamente como la facultad de dictar normas "reglamentarias" para todo el ciclo de vida nuclear, desde la extracción de minerales y el emplazamiento de una instalación hasta la clausura de la misma. En este sentido, la Convención dispone que el marco legal y reglamentario prevea el establecimiento de los requisitos y las disposiciones nacionales aplicables en materia de seguridad.

De esta manera, la aplicación del marco legislativo y reglamentario que le incumbe al órgano regulador, comprende necesariamente la facultad de regular mediante la dictación de reglamentos el desarrollo de cada una de las fases del ciclo de vida nuclear, así como a la obligación de establecer procedimientos para hacer frente a incidentes operacionales previstos y a los accidentes nucleares, conforme a lo dispuesto en las leyes que regulen la materia.

2.2.3. Potestades fiscalizadoras

Como se ha dicho, el mandato de la Convención de Seguridad Nuclear es establecer un organismo regulador capaz de aplicar el marco legislativo y reglamentario de un determinado Estado. En cuanto a la potestad fiscalizadora, la Convención establece, de modo general, que se debe prever un sistema de otorgamiento de licencias relativas a instalaciones nucleares para verificar el cumplimiento de las disposiciones aplicables y de lo estipulado de las licencias, cuestión que puede incluso significar la aplicación

de medidas sancionatorias como la suspensión, modificación o revocación de la licencia[369].

Lo anterior exige necesariamente el establecimiento a priori de competencias fiscalizadoras para el regulador, que le permitan ejercer el control continuo de la actividad nuclear. El regulador tiene a su cargo implementar medidas que aseguren el cumplimiento de la legislación, mediante un procedimiento de fiscalización preestablecido, el cual tal como se indica en el artículo 17 de la Convención, incluya "revaluar, en la medida de lo necesario, todos los factores pertinentes" que durante el funcionamiento de una instalación nuclear y a lo largo de toda su vida, se relacionen con su emplazamiento y con las consecuencias sobre la seguridad de las personas, la sociedad y el medio ambiente.

La Convención señala, además, que durante la vida de una instalación nuclear, se debe velar porque las actividades de explotación, mantenimiento, inspección y pruebas de la misma, se realicen en conformidad con los procedimientos aprobados, para lo cual se debe dotar al órgano correspondiente de facultades de inspección o fiscalización suficientes. En el mismo sentido, su artículo 14, sobre "Evaluación y Verificación de la Seguridad", impone a cada Parte contratante la adopción de medidas adecuadas para la realización de evaluaciones detalladas y sistemáticas de la seguridad antes de la construcción y puesta en servicio de una instalación nuclear, así como a lo largo de su vida. Añade la misma norma que se deberá llevar a cabo evaluaciones "bien documentadas" y actualizadas conforme a la experiencia operacional y de cualquier nueva información significativa que surja en materia de seguridad, así como de ser revisadas por el regulador. Esta obligación impone también la realización de actividades de verificación del estado físico y el funcionamiento de una determinada instalación nuclear mediante análisis, vigilancia, pruebas e inspección, todo en conformidad con el diseño, los requisitos de seguridad nacionales y los límites y condiciones operacionales.

Por su parte, la CPFMN, dispone en su artículo 3°, que cada Estado Parte debe adoptar medidas apropiadas en el marco de su respectiva legislación para asegurar la protección, de acuerdo con los parámetros que establece, de los materiales nucleares que se transporten internacionalmente, o que se encuentren en su territorio, o a bordo de un buque o de una aeronave bajo su jurisdicción. Lo anterior no podría lograrse sin dotar a un órgano con potestades fiscalizadoras suficientes que aseguren los niveles de protección requeridos. Se prohíbe, en términos generales, autorizar la exportación o importación, así como el tránsito por territorios nacionales, de materiales nucleares que provengan o se dirijan a países que no formen parte de la Convención, a menos que se asegure que se aplicarán a dichos materiales los niveles

[369] Convención de Seguridad Nuclear, art. 7, párrafo segundo, apartados iii) y iv).

de protección física exigidos por la convención, tarea fiscalizadora que queda entregada a cada Estado parte[370].

2.2.4. Potestades Sancionatorias o Coerción

Esta potestad generalmente es consecuencia de la constatación de irregularidades o infracciones a la luz del ejercicio de la potestad fiscalizadora, que busca revertir, corregir e impedir que se vuelvan a efectuar conductas indeseadas que pongan en riesgo la seguridad y salud de las personas y del medio ambiente.

Como se mencionó anteriormente, la Convención de Seguridad Nuclear, en el párrafo 2°, apartado iv), del artículo 7, establece que cada Parte contratante debe tener un marco legal y reglamentario que prevea incluso medidas de suspensión, modificación o revocación de licencias concedidas. Por tanto, el marco sancionatorio mínimo debe contemplar potestades para un órgano regulador, que frente a determinados incumplimientos imponga sanciones, modificaciones y la revocación de licencias a sus titulares.

En otro plano, la CPFMN describe actos que cada Estado Parte debe considerar como "punibles", entregándole a los mismos la responsabilidad de imponer frente a su comisión "penas apropiadas". Entre los actos o conductas penadas por este instrumento internacional encontramos los siguientes: [371]

a) Actos que consistan en recibir, poseer, usar, transferir, alterar, evacuar o dispersar materiales nucleares sin autorización legal, su tal acto, causa, o es probable que cause, la muerte o lesiones graves a una persona o daños materiales sustanciales;
b) Hurto o robo de materiales nucleares;
c) Malversación de materiales nucleares o su obtención mediante fraude;
d) Un acto que consista en la exacción de materiales nucleares mediante amenaza o uso de violencia o mediante cualquier otra forma de intimidación;
e) Una amenaza de:
(i) utilizar materiales nucleares para causar la muerte o lesiones graves de una persona o daños materiales sustanciales;
(ii) cometer uno de los delitos mencionados en el apartado b) a fin de obligar a una persona física o jurídica, a una organización internacional o a un Estado a hacer algo o a abstenerse de hacer algo;
f) una tentativa de cometer uno de los delitos mencionados en los apartados a), b) o c), y;

[370] Art. 4, Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares .
[371] Art. 7, Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares.

g) un acto que consista en participar en cualquiera de los delitos mencionados en los apartados a) a f), será considerada como delito punible por cada Estado Parte en virtud de su legislación nacional.

La imposición de sanciones frente a los actos punibles mencionados queda entregada a cada Estado Parte de acuerdo a su tradición. En el caso de nuestro país, se debe señalar que la imposición de penas queda entregada a los tribunales de justicia y no a órganos administrativos, sin perjuicio de la posibilidad de que éstos últimos impongan sanciones consistentes en multas a beneficio fiscal, clausura o cierre de instalaciones infractoras.

En este mismo orden de ideas, la Convención de Viena Sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, vigente en Chile, hace competente para conocer de las causas que se promuevan como consecuencia de daños ocasionados por un accidente nuclear a los tribunales correspondientes al territorio en que haya tenido lugar el accidente nuclear, conforme a lo establecido en sus respectivos textos legales.[372] De esta manera, se puede apreciar que la intención de los instrumentos internacionales es separar la aplicación de sanciones administrativas, encargadas generalmente al órgano regulador, de las sanciones civiles y penales, que serán de cargo de los correspondientes tribunales de justicia.

2.2.5. Potestades de información.

El establecimiento de esta potestad, a nivel de instrumentos internacionales, se da principalmente con relación a la obligación de las partes o Estados contratantes de entregar, en diversos aspectos y periódicamente, información que sirva de base para que la comunidad internacional, como la OEIA, mantengan registros actualizados de todo lo referido a los usos pacíficos de la energía atómica en distintas partes del mundo, así como contingencias y otros hechos.

El artículo 5° de la Convención establece la obligación de cada Parte Contratante de presentar a examen, antes de cada "reunión de examen" que realice la Convención, las medidas que haya adoptado para dar cumplimiento a las obligaciones contenidas en la Convención.

Como veremos, el ejercicio de la potestad de información, de acuerdo a los instrumentos internacionales, se relaciona estrechamente con la potestad de coordinación entre distintos Estados Parte y la OIEA. De este modo, la Convención impone la obligación de que cada Parte Contratante entregue información a otras en los casos en que estas últimas se encuentren cerca de instalaciones nucleares

[372] Art. XI de la Convención de Viena Sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares.

proyectadas que pudieren afectarles, de manera que en base a la información proporcionada puedan "formarse un propio juicio sobre las probables consecuencias de la instalación nuclear para la seguridad de su propio territorio."

Por su parte, esta potestad también vincula en obligaciones a los titulares de licencia con el órgano regulador. La Convención impone a las Partes Contratantes la necesidad de adoptar medidas adecuadas para que el titular de la licencia notifique oportunamente al órgano regulador los incidentes significativos para la seguridad nuclear. Del mismo modo, se impone a las Partes contratantes la adopción de medidas que incluyan programas de recopilación y análisis de experiencia operacional, utilizando mecanismos para compartir dicha experiencia con los organismos internacionales, otras entidades explotadoras y órganos reguladores.

Con respecto al ejercicio de esta potestad, la Convención sobre Pronta Notificación de Accidentes Nucleares, suscrita y vigente en Chile, contiene en su artículo 2°, importantes obligaciones de notificación e información de los Estados Parte, para con la OIEA y otros Estados Parte. Al respecto, la norma dispone que se deben establecer canales de comunicación directos entre el Estado y la OIEA, o bien, entre los mismos Estados, con el fin de proporcionar toda información pertinente a cualquier accidente en instalaciones nucleares que ocasionen o probablemente ocasionen una liberación de material radiactivo, y que haya resultado o pueda resultar en una liberación transfronteriza internacional. El contenido de la información que ha de suministrarse se establece en el artículo 5 de la Convención e incluye antecedentes relativos al momento y lugar del accidente, la instalación o actividad involucrada, la causa supuesta o determinada, características generales, información sobre condiciones meteorológicas, las medidas de protección adoptadas, etc. La obligación se extiende a ulteriores requerimientos de los Estados Parte afectados, con miras a reducir las consecuencias radiológicas.

En el marco del Acuerdo con la OIEA para la Aplicación de Salvaguardias en Relación con el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe (Tratado de Tlatelolco), Chile se ha comprometido a proporcionar al OEIA, toda la información relativa a los materiales nucleares sujetos a salvaguardias y las características de las instalaciones destinadas a la salvaguardia de los mismos materiales.

En cuanto al tratamiento de la información proporcionada, tanto la Convención sobre Pronta Notificación de Accidentes Nucleares, la Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares y la Convención sobre Asistencia en Caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica reconocen la posibilidad de dar a conocer la información proporcionada por un Estado Parte, salvo en los casos que dicha

información haya sido entregada en carácter de confidencial, debiendo asegurarse por parte del Estado que la recibe un tratamiento conforme a lo requerido.

2.2.6. Potestades de coordinación

La potestad de coordinación, a nivel internacional, consiste básicamente en que el órgano regulador se encuentre facultado para mantener contacto con organismos reguladores de otros Estados y con organizaciones internacionales, a fin de promover la cooperación y el intercambio de información en materia de sus funciones.

Por lo anterior, la generalidad de las convenciones mencionadas en el análisis del resto de las potestades que ejerce el órgano regulador, o que generalmente se le entregan a éste, disponen que los Estados Partes o las Partes Contratantes deben designar a una autoridad competente o puntos de contacto que establezca una permanente comunicación con otros Estados Parte o Partes contratantes y/o con la OIEA, de acuerdo al ámbito de aplicación del correspondiente tratado.

Un convenio multilateral que establece expresamente la creación de un coordinador nacional es el Acuerdo de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL), vigente en Chile desde el año 2006. Dicho convenio manda la designación de una persona, ya no como órgano regulador, sino que considerado un funcionario de rango superior, que debe representar a cada Estado ante el Órgano de Coordinación Técnica de Arcal "OCTA".

2.3. Potestades del órgano regulador nuclear con arreglo a la Doctrina de la OIEA

Como lo indica el título de esta sección, a efectos de sistematizar el análisis de la doctrina, nos referiremos en mayor medida a los elementos propuestos por textos de la misma OEIA, los que aportan de una manera completa ideas y estándares para el establecimiento de un órgano regulador eficaz, las que pueden adoptarse según el modelo de regulación que cada Estado tenga.

La doctrina considera que cada Estado debe dotar a su órgano regulador de algunas funciones reguladoras esenciales, procurando proteger la salud pública, la seguridad tecnológica y el medio ambiente.

A continuación, se exponen los principales puntos recogidos a partir del Manual de Derecho Nuclear y de la Colección de Normas de Seguridad del OEIA.

2.3.1. Potestades autorizatorias

El ejercicio de esta potestad supone la intervención del organismo regulador en la determinación de las actividades nucleares que requieren ser objeto de un procedimiento de autorización. Una vez determinado lo anterior, el organismo regulador deberá determinar qué grado de control se debe ejercer sobre la actividad en particular, pudiendo adoptar al efecto distintas categorías de autorizaciones o licencias, dependiendo del riesgo que involucre su desempeño. Al igual que la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención Conjunta, la doctrina reconoce que el órgano regulador debe estar facultado para conceder, modificar, suspender y revocar autorizaciones, así como para determinar las condiciones sobre las cuales una licencia será entregada, y las condiciones que la licencia impondrá al ejercicio de una actividad nuclear específica.

2.3.2. Potestades reguladoras o normativas

En este sentido, se reconoce como facultad esencial del regulador el adoptar normas en el ámbito de su competencia, la que se extiende básicamente a:

- Establecer principios y criterios en materia de Seguridad Nuclear, dictando al efecto reglamentos y directrices.

- La determinación de mejoras que se requieran en determinadas instalaciones desde el punto de vista de seguridad tecnológica.

- La facultad de fijar las condiciones para expedir, modificar, suspender o revocar autorizaciones.

- Especificar las instalaciones, actividades o inventarios de fuentes que sean objeto de la autorización.

- Especificar los requisitos para notificar al órgano regulador de toda modificación que afecte aspectos relacionados con la seguridad.

- Determinar las obligaciones que deberá cumplir el explotador con respecto a su instalación, personal y equipo.

- Establecer los límites relativos a la explotación y la utilización de materiales nucleares.

- Fijar criterios de acondicionamiento del procesamiento de desechos radiactivos aplicables a las instalaciones de gestión de desechos existentes o previstos.

- Determinar toda autorización que el explotador deba obtener por separado del regulador

- Fijar requisitos para la notificación de accidentes.

- Señalar los informes que el explotador deba presentar al órgano regulador.

- Establecer registros que el explotador deba conservar y los períodos durante los cuales tendrán que conservarse.

- Dictar disposiciones de preparación para emergencias.

2.3.3. Potestad fiscalizadora

La potestad fiscalizadora, surge de la facultad que detenta el regulador para otorgar licencias y autorizaciones. Consiste básicamente en dotar al organismo regulador de autoridad suficiente para hacerse presente en los emplazamientos e instalaciones, de manera de que pueda velar por la seguridad tecnológica, la salud pública y el resguardo del medio ambiente.

Sin embargo, la doctrina incorpora a esta facultad la posibilidad de participación tanto de personas y organismos públicos como de organizaciones privados, quienes en la medida que procedan, pueda aportar documentos y opiniones sobre salud pública, seguridad tecnológica y medio ambiente.

Finalmente, la potestad fiscalizadora comprende la facultad del organismo de exigir cierto tipo de información al explotador de una instalación y de quienes le suministren materiales, mencionándose que incluso podrá requerir información amparada en leyes de propiedad industrial.

2.3.4. Potestades sancionatorias o de coerción

En cuanto a esta potestad, la doctrina de la OEIA reconoce que no hay una manera única de ejercerla. Se indica que existen organismos reguladores que tienen secciones especializadas encargadas de esta función, que dictan órdenes administrativas o prohibiciones a los titulares de las licencias. Se reconoce también que muchos organismos reguladores están facultados por sus legislaciones para imponer multas y sanciones, así como cerrar instalaciones y revocar licencias.

También se reconoce, en virtud de que muchos Estados lo permitirían, la posibilidad de que el organismo regulador esté dotado de facultades para imponer sanciones penales frente a infracciones intencionales y especialmente graves.

2.3.5. Potestad de información

El ejercicio de esta potestad, se vincula directamente con la percepción pública que todos los habitantes de un determinado Estado llegan a tener respecto del ejercicio de actividades nucleares. El Manual de Derecho Nuclear señala que *"la confianza pública en el uso tecnológicamente seguro de los materiales y las técnicas nucleares está íntimamente relacionada con el historial del organismo regulador en cuanto a la divulgación rápida precisa y completa de información relativa a esas cuestiones y actividades".*

Otro punto importante en el ejercicio de esta facultad está dado por la necesidad de dotar de la necesaria independencia al organismo regulador, de modo tal que pueda transmitir al público sus decisiones, opiniones y requisitos y fundamentos de las mismas.

Tal como se había adelantado, la potestad de información comprende también la comunicación entre el organismo regulador y otros organismos estatales, sectoriales, internacionales, en relación con el ejercicio de actividades nucleares, accidentes y hechos relevantes.

Finalmente, se recalca la necesidad de dotar al organismo instancias de comunicación directa con altas instancias gubernamentales con el objeto de lograr un adecuado ejercicio de sus funciones reguladoras.

2.3.6. Potestad de Coordinación

La importancia doctrinaria respecto de esta facultad, viene dada por la trascendencia internacional del ejercicio de la actividad nuclear y sus riesgos globales con respecto a la salud, seguridad tecnológica y el medio ambiente.

En este sentido, se señala que el organismo regulador debe estar facultado para mantener canales de comunicación directa y permanente con organismos reguladores de otros Estados y con organizaciones internacionales, a fin de promover la cooperación y el intercambio de información en materia de regulación.

De la misma manera, pero en el ámbito puramente estatal, el organismo regulador debe establecer canales de comunicación y de coordinación con otras entidades estatales y con organizaciones no gubernamentales competentes.

2.4. Potestades del órgano regulador nuclear con arreglo al derecho comparado

2.4.1. Metodología y criterios a considerar

Habiendo analizado y aclarado el alcance de cada una de las potestades que tienen relación con la ejecución de instalaciones nucleares, en esta parte se efectuará un análisis de derecho comparado referente a cada una de estas potestades.

Se pretendió determinar si la regulación contenida en cada uno de los países considerados obedecía a situaciones o realidades particulares, o respondía a consideraciones que son comunes y generales en la regulación nuclear, y por lo tanto debieran considerarse al momento de diseñar el marco jurídico. Para ello, en la medida de lo posible, se tuvieron presente los siguientes elementos o criterios de análisis, para determinar si incidían en la forma y extensión del ejercicio de cada una de las potestades analizadas.

- Sistema político federal o unitario.
- Si el desarrollo de la energía nuclear es de dominio participación público, privado o mixto.
- Quién y cómo se ejercen las potestades.
- Ciclo de vida del proyecto que se ejercen.
- Si las potestades son ejercidas por un organismo autónomo o dependiente de la administración central.
- Relación que el órgano que ejerce la potestad tiene con aquel que otorga la licencia y/o autorización.
- Relación con obligaciones asociadas a tratados internacionales

2.4.2. Potestad Regulatoria

El ejercicio de la función o potestad de regulación se refiere básicamente a la forma y ámbito de extensión en que un órgano, (la o las autoridades regulatorias), se encuentra habilitado para normar distintos aspectos relativos al ejercicio de la actividad nuclear.

En este sentido, es posible advertir que en todos los países se ha entregado esta facultad a la autoridad regulatoria nuclear, lo que ha sido expresamente considerado como un requisito necesario para la gestión eficaz de los materiales nucleares por

parte de la Convención de Seguridad Nuclear y de la OIEA, y que coincide, además, con el órgano encargado del licenciamiento.

Si bien la regulación, a nivel regional (como es el caso de la Unión Europea), influye sobre las normas de regulación de los países miembros, se observa que estos tienen cierta autonomía para dotarse de una estructura regulatoria interna, sin perjuicio de la observancia de criterios y obligaciones regionales e internacionales.

a. Función regulatoria según la organización política del Estado.

En este punto existen diferencias en el ejercicio de la potestad de regulación, atendiendo a si su forma de organización corresponde a países unitarios o a países con organización federal o similar.

La regla general es que las competencias regulatorias se concentran en el organismo rector en estas materias, el cual tiene potestades para regular en todos aquellos aspectos asociados con la manipulación y gestión de sustancias radiactivas.

Sin embargo, en algunos países de corte federal, como es el caso de Alemania y Estados Unidos, el ejercicio de esta potestad es predominantemente a nivel central, a través del Ministerio Federal del Medioambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear y de la NRC (órgano federal) respectivamente.

No obstante ello, la legislación de ambos países contempla la posibilidad de que los estados miembros regulen dentro de su territorio ciertos aspectos no regulados por el gobierno central.[373]

Por otro lado, existen situaciones donde determinadas materias específicas son regulados por otras entidades públicas. Así, en el caso de Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) puede dictar normas que regulen y limiten la exposición humana a la radiación, la emisión de residuos peligrosos y contaminantes a la atmósfera e incidencia en el otorgamiento de licencias, toda vez que ésta se encarga de fijar estándares ambientales que deben ser cumplidos por quienes cuentan con las autorizaciones o licencias. Del mismo modo se mantiene la facultad al Ministerio de

[373] Los Länder están investidos de la facultad para dictar normas de regulación administrativa, con el fin de implementar las Ley de Protección Nuclear y Radioactiva, las que en la práctica se dictan en base a recomendaciones efectuadas por el Comité de Seguridad Nuclear. Por su parte, en Estados Unidos, los Estados Parte, pueden regular las actividades nucleares que no están regulados por el Gobierno Federal, en la medida que no se contraponga a las normas federales. En virtud de la sección 274 de la Ley de Energía Atómica, los estados miembro pueden celebrar acuerdos con la NRC para regular ciertos materiales, en estos casos la NRC delega su potestad, debiendo el estado miembro llevar un programa compatible con los estándares del órgano regulador.

Transportes normas asociadas a la señalética y otras materias de seguridad, para el transporte de sustancias radiactivas.

El Reino Unido, si bien presenta a varios órganos con potestades regulatorias de aplicación general en todos los países que lo integran, permite que determinados ministerios tanto de Escocia como Gales participen en la creación de normas regulatorias, principalmente, en lo referido al transporte y disposición de materiales y desechos radioactivos.

De este modo, la tendencia predominante es a concentrar las competencias de regulación en el mismo organismo encargado de regular y autorizar actividades nucleares, de manera de lograr uniformar las normas, lo que se efectúa radicando las facultades reguladoras en órganos nacionales. Lo anterior, sin perjuicio que existen situaciones donde se mantienen las competencias sobre materias específicas, como ya se indicó.

b. Función regulatoria según participación pública o privada

En países como Francia, Alemania, Finlandia y la República Checa, se ha otorgado la función de regulación, fundamentalmente, a ministerios con competencias en la materia, mientras que países como Estados Unidos, Canadá, Argentina y España han dotado de esta potestad a comisiones u agencias públicas especialmente creadas.

La excepción en este punto la marca el Reino Unido, ya que combina la actuación de una Secretaría de Estado, el Ministerio de Negocios, Empresas y Reforma Regulatoria (antes conocido como Ministerio de Industria y Comercio) con una serie de potestades, comisiones y oficinas que igualmente son de derecho público.

c. Según las etapas de regulación.

En general, esta facultad es ejercida por el mismo organismo, independiente de la fase del ciclo de vida nuclear.

Una situación particular se refiere a la técnica de regulación en materia de manejo de residuos. Para dichos efectos, existen experiencias donde se han creado órganos específicos, dotados de facultades regulatorias especiales para las fases de manejo de residuos nucleares y desmantelamiento de instalaciones nucleares. Esto se explicaría por lo sensible que resulta el manejo de residuos y que su almacenamiento debe ser seguido por periodos de tiempo muy prolongados, de cientos de años.[374]

[374]Es el caso de la Comisión de Desechos en Alemania (que asesora al Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de Naturaleza y Seguridad Nuclear), el caso de la Autoridad Nuclear para el

2.4.3. Potestad de Fiscalización

Se ha podido observar que, en mayor o menor grado, la función fiscalizadora es ejercida por organismos que reúnen las siguientes características:

- Son independientes de las entidades públicas o privadas que desarrollan y promueven las tecnologías y actividades nucleares.

- Poseen autoridad y facultades apropiadas para el cumplimiento de sus deberes, así como de recursos humanos y financieros suficientes para tal propósito.

- Junto con la función fiscalizadora, la mayoría de las veces desarrollan también funciones regulatorias, coercitivas, sancionatorias y de autorización o algunas de ellas.

Ahora bien, más allá de las características generales antes anotadas, las modalidades concretas que toma la función fiscalizadora se encuentran entregadas a la definición de cada Estado. Por esto, se hace necesario analizar dichas modalidades en base a distintos criterios que pasamos a revisar a continuación:

a. Función fiscalizadora según la organización política del Estado

En este punto nos interesa analizar si la organización política de los Estados influye en la modalidad concreta que adopta la función fiscalizadora y, en caso de respuesta positiva, de qué manera lo hace.

Cuando hablamos de organización política, distinguimos entre países unitarios y países federales, comprendiendo en estos últimos a todos aquellos que tienen divisiones políticas que gozan de cierta autonomía respecto del gobierno central o federal ("estados", "provincias", "territorios", "regiones", "comunidades" etc.).

La regla general en esta materia, es que la función fiscalizadora sea ejercida por un mismo órgano para todo el territorio del país, sea que se trate de un país unitario o federal. De esta forma, las divisiones políticas menores, cualquiera sea la denominación que tomen, no detentan funciones fiscalizadoras.

Constituye una excepción a la regla general el caso de Alemania. En dicho país, los estados federados (*Länder*) son los encargados de establecer los organismos y

Desmantelamiento en el Reino Unido, la Oficina de Seguridad de Materiales Nucleares y Salvaguardias (NMSS) de Estados Unidos y la Autoridad de Desechos Radioactivos de Finlandia.

mecanismos concretos para cumplir con la legislación federal. De esta manera, son ellos los responsables de la fiscalización de las actividades nucleares que se lleven a cabo dentro de su jurisdicción. No obstante ello, las actividades nucleares de transporte, importación y exportación, al involucrar a la federación completa o a varios estados, son fiscalizadas por órganos federales.

Otra excepción la constituye el caso de Reino Unido, donde la función fiscalizadora es ejercida por distintos ministerios y organismos en Inglaterra, Gales, Irlanda del Norte y Escocia.

En el caso de Estados Unidos, Canadá y España, opera la regla general, la cual se ve parcialmente alterada. En efecto, en tales países la función fiscalizadora es ejercida por un organismo central o federal, el cual, sin embargo, puede suscribir acuerdos con los estados, provincias o comunidades, respectivamente, para delegar en ellos parte de sus funciones, incluida la de fiscalización.

b. Función fiscalizadora según participación pública o privada

En los nueve países analizados, la función fiscalizadora constituye una potestad pública, la cual, en consecuencia, es ejercida por organismos públicos.

No existen organismos privados encargados de fiscalizar actividades nucleares, sin perjuicio de que las compañías que desarrollan dicho tipo de actividades, les corresponda cooperar con tal función, entregando información y permitiendo inspecciones.

c. Función fiscalizadora según el órgano que la ejerce

La función fiscalizadora, mirada desde el punto de vista del órgano que la ejerce, puede ser analizada según el grado la autonomía o dependencia del organismo fiscalizador respecto del Gobierno. Según este criterio, los organismos fiscalizadores pueden ser de dos tipos:

1. Agencia independiente o autónoma del Gobierno:

Bajo esta modalidad el órgano fiscalizador no es supervisado ni depende jerárquicamente del Gobierno en forma directa, ni de ninguno de sus ministerios o departamentos y goza de personalidad jurídica y patrimonio propios.

Es la modalidad que ha adoptado Estados Unidos[375], España[376], Argentina[377], Canadá,[378] República Checa[379], Finlandia[380] y Francia[381].

2. Organismo dependiente y supervisado por el Gobierno:

En este caso, el organismo fiscalizador depende jerárquicamente y es supervisado por el gobierno, a través de sus ministerios o departamentos.

Esta modalidad es la que opera en Alemania, puesto que son los estados (*Länder*) los encargados de fiscalizar las actividades nucleares, pero como agentes del Gobierno Federal (*Bund*) y supervisados por él a través del Ministerio de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear.

3. Casos especiales o mixtos:

Reino Unido combina las dos modalidades anteriores, puesto que la función de fiscalización es llevada a cabo por un ministerio[382] y también por agencias independientes del Gobierno[383]/[384].

d. <u>Según las fases o etapas fiscalizadas</u>

La regla general es que todas las fases de la actividad nuclear sean fiscalizadas por un mismo órgano, sin perjuicio de las facultades sectoriales que les competan a ciertos ministerios u otros órganos públicos[385].

[375] Nuclear Regulatory Commission (NRC)
[376] Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).
[377] Autoridad Regulatoria nuclear (ARN).
[378] Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC).
[379] State Office for Nuclear Safety (SÚJB).
[380] Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK).
[381] Autorité de Sureté Nucléaire (ASN).
[382] Secretary of State for Trade and Industry.
[383] Health and Safety Commission (HSC) y Health and Safety Executive (HSE), siendo esta la unidad operativa de aquella. De la HSE depende la Nuclear Installations Inspectorate (NII) que el departamento específico que realiza las fiscalizaciones e inspecciones.
[384] Cabe recordar que Gales, Escocia e Irlanda del Norte tienen sus propios ministerios y organismos de fiscalización.
[385] Así, por ejemplo, en casi todo los países, los Ministerios o Agencias de Medio Ambiente tienen facultades fiscalizadoras para el control de la polución y la contaminación de las aguas por sustancias nucleares. También, en algunos países, como Francia y Alemania, los Ministerios de Transporte tienen facultades de fiscalización sobre dicha fase de la actividad nuclear. En este último país, al Ministerio de Finanzas le corresponde la fiscalización de la importación y exportación de sustancias nucleares.

e. Según si el órgano fiscalizador otorga o no licencias

De acuerdo a este criterio, nos encontramos con las siguientes categorías:

1. *Modalidad en que la función fiscalizadora y de autorización se reúnen en un mismo órgano:*

Este es el caso de Canadá, Estados Unidos, República Checa y Argentina, en los cuales un mismo organismo otorga las licencias para el desarrollo de actividades nucleares y luego fiscaliza a quienes han obtenido tales licencias.

2. *Modalidad en que la función fiscalizadora y de autorización se encuentran entregadas a distintos órganos*

En el caso de Finlandia, las licencias para el desarrollo de actividades nucleares las entrega el Gobierno, en un procedimiento coordinado por el Ministerio de Comercio e Industria (KTM) y que involucra a diferentes organismos, incluido el STUK.

Otro tanto ocurre en Francia, donde las licencias son otorgadas por el Ministerio de Medio Ambiente y el de Industria, quedando la fiscalización entregada a una agencia independiente (ASN).

También bajo esta modalidad nos encontramos a España, en donde las licencias las otorga el Ministerio de Economía y la fiscalización la ejerce el Consejo de Seguridad Nuclear.

3. *Casos especiales*

Bajo este criterio de análisis, nos encontramos con dos casos particulares que no caben en forma exacta en ninguna de las modalidades antes señaladas. Son el caso de Alemania y del Reino Unido.

En el caso de Alemania, las funciones de autorización y de fiscalización son desempeñadas por los estados federados, para las actividades que se desarrollan bajo su jurisdicción. Sin embargo, las actividades que involucran al país completo o a más de un estado federado, como lo son el transporte y la importación y exportación de sustancias nucleares, son fiscalizadas por Ministerios federales.

En Reino Unido, según ya hemos referido, Inglaterra, Gales, Escocia e Irlanda del Norte organizan el licenciamiento y fiscalización de manera distinta. En lo que respecta a Inglaterra, la función de licenciamiento es cumplida, respecto de la importación y

exportación, por el Ministerio de Comercio e Industria, y respecto de la construcción y operación de plantas nucleares, por la Health Safety Executive (HSE). Este último organismo es al cual corresponde la fiscalización de las actividades nucleares. Por lo tanto, en Inglaterra la fiscalización y autorización son actividades parcialmente ejercidas por un mismo órgano.

f. Síntesis

Como síntesis de todo lo señalado precedentemente, se extrae que, de los países analizados, el sistema de fiscalización mayormente adoptado tiene las siguientes características:

- La realiza un mismo órgano para todo el territorio del país, sin perjuicio de que pueda actuar en forma descentralizada.

- La ejerce un organismo o agencia pública de carácter técnico, independiente del Gobierno, que cuenta con personalidad y patrimonio propios y que goza de autonomía de los organismos políticos, sin perjuicio de que sean estos últimos los que fijen las directivas o lineamientos generales en materia nuclear.

- La desempeña un mismo organismo para todas las fases o etapas de la actividad nuclear, sin perjuicio de las competencias sectoriales que posean otros organismos públicos.

- El mismo órgano que otorga la licencia para el desarrollo de una actividad nuclear y fija las condiciones para dicho licenciamiento, es el encargado de fiscalizar el cumplimiento de tales condiciones y, en general, de la legislación nuclear.

2.4.4. Potestad Sancionatoria

Respecto a la potestad sancionatoria en materia nuclear, es preciso señalar que podemos distinguir dos formas o expresiones de ésta. La primera se refiere a la facultad de coerción que se ejerce respecto a los actores de la actividad nuclear, que significa, principalmente, la imposición de medidas referentes a la seguridad en esta materia. Una segunda derivación trata del sancionar propiamente tal: desde la imposición de multas hasta situaciones extraordinarias de revocación de licencias. Ambas aristas son observadas en la legislación comparada.

En cuanto a la variedad de sanciones, se pueden observar que éstas abarcan una amplia gama, a saber:

- Amonestaciones por escrito.
- Mandamiento a adoptar medidas concretas.
- Multas.
- Suspensión de actividades.
- Revocación de autorizaciones y licencias.
- Tipos penales específicos asociados a una manipulación o manejo malicioso de los materiales radiactivos.

Por otra parte, del análisis de la institucionalidad y legislación de los países objeto de nuestro estudio, podemos afirmar que la generalidad de las instituciones que detentan la potestad regulatoria en materia nuclear ostentan, al mismo tiempo, la de sancionar.

No obstante, es factible verificar casos de graduación de la aplicación de sanciones, como en el caso español, donde se dispone competencias específicas a diferentes organismos dependiendo de la gravedad de la falta.

De esta forma, son competentes el Consejo de Ministros en las infracciones muy graves, las graves por el Ministro de Industria, Turismo y Comercio, y las leves por el Director General de Política Energética y Minas y residualmente el Consejo de Seguridad Nuclear puede aplicar sanciones (como cuando hubiere requerido la adopción de medidas y no fueren acatadas). Por lo demás, las entidades administrativas *agregadas* por la normativa española poseen facultades de carácter general en materia nuclear, que ciertamente no se refieren a las del Consejo de Seguridad Nuclear.

Sin embargo, la excepción sobre este tema se sitúa en la legislación alemana, donde se ha encomendado a los *Länders* la aplicación particular de la normativa nuclear, con lo que cada organización territorial establecerá la institucionalidad y mecanismos idóneos para ello.

A continuación, analizaremos la consagración y ejercicio de esta potestad desde los siguientes puntos de vista:

a. <u>Análisis en razón a la organización política del Estado</u>

Tanto los países federales como unitarios han optado por la creación de entes independientes para el ejercicio de la potestad sancionatoria en materia nuclear. En el caso federal, se da que la legislación general ha optado por asignar esto a un órgano de alcance nacional y no de índole particular. La excepción estaría dada por Alemania y la responsabilidad de los Länders en la aplicación de la normativa.

Situación especial es la del Reino Unido con la Inspectora de Instalaciones Nucleares (NII) dependiente de la Health and Safety Executive, que comparte atribuciones con otros órganos de carácter territorial (Escocia, Gales, Irlanda del Norte, Inglaterra).

Junto con ello, el caso español presenta la particularidad de competencias compartidas, que ya fuere reseñada anteriormente, entre el Consejo de Ministros, Ministro de Industria, Director de Política Energética y el Consejo de Seguridad Nuclear, en razón de la gravedad del ilícito.

b. Análisis en razón de la participación público o privada

El órgano que detenta la potestad de sancionar es eminentemente público en todos los países estudiados, en razón de significar el ejercicio del *ius puniendi* estatal en materia administrativa. Los privados no poseen mayores injerencias a este respecto.

c. Análisis conforme al órgano designado. Autonomía o dependencia respecto del poder central

En la mayoría de los países analizados, el ejercicio de esta facultad está radicado en un órgano independiente del poder central o gobierno. Sin perjuicio de esto, podemos observar ciertos matices en dos casos.

El Consejo de Seguridad Nuclear español no puede aplicar directamente las multas de mayor gravedad. Cuando éstas procedieren, deberá abrirse previamente expediente ante el órgano administrativo que corresponda. Con todo, detenta de igual forma la aplicación de sanciones como revocación, suspensión y otras.

El segundo caso está representado por la potestad que detenta el Consejo de Estado Francés en ordenar el apagado y desmantelamiento de una planta, la cual será ejercida una vez que la Agencia para la Seguridad Nuclear ponga en su conocimiento la existencia de una planta que en su operación signifique un riesgo grave e inabordable para la comunidad y el medio ambiente.

Por último, el ya comentado caso alemán asigna la responsabilidad de la implementación de la normativa nuclear a los Länder.

d. Fases o etapas de su implementación

Al ser corolario consecuencial negativo de las facultades de regulación y fiscalización, esta potestad puede verificarse en las diferentes etapas del proceso productivo.

e. Según si el órgano a cargo otorga licencias o autorizaciones

- *Órgano otorga licencias*.

En Estados Unidos, Canadá, Reino Unido[386], República Checa y Argentina se ha aglutinado el ejercicio de estas facultades en el órgano que otorga licencias y que, a la vez, efectúa labores de regulación y fiscalización.

Un caso de excepción se presenta en la República Checa, ya que en los países eminentemente unitarios -en cuanto organización política- se ha optado por separar el ejercicio sancionatorio del que otorga la licencia.

- *Órgano no otorga licencias*

España, Francia y Finlandia[387] son los únicos Estados donde los organismos que aplican sanciones no coinciden con aquellos que otorgan licencias o autorizaciones, no obstante pueden participar en ello a manera de autoridad informante.

Podríamos afirmar que aquellos países de orientación unitaria en su organización política (reconociendo que la situación española da luces para opinar lo contrario) han optado por separar estas funciones. Por lo demás, en estos países las decisiones de otorgamiento de licencias se efectúa de manera centralizada o de inicio centralizado (como la *decisión en principio* finlandesa y posterior requerimiento de aprobación parlamentaria).

La República Checa sería una excepción en este caso, ya que la State Office for Nuclear Safety (SUJB) es quién otorga licencias y detenta la facultad de sancionar el incumplimiento de los agentes productivos, llegando hasta la revocación.

f. Según la participación en la matriz energética

En general, no se presentan diferencias relevantes, salvo el caso francés y español en que los órganos independientes reguladores y sancionadores comparten competencias con entidades administrativas de importancia y de alto grado centralizadas.

[386] Health and Safety Executive (por medio de la Inspectoría de Instalaciones Nucleares)
[387] Autoridad para la Seguridad Nuclear y la Radiación (STUK).

g. Síntesis

- Sin importar si estamos hablando de Estados unitarios o federales, la experiencia internacional ha optado por asignar el ejercicio de esta facultad en órganos independientes.

- Dentro de las facultades de sanciones siempre se contempla la posibilidad de suspender, modificar y revocar la autorización.

- En cuanto a la relación otorgamiento de licencias y facultad sancionadora, hay una tendencia a que los Estados unitarios separen estas funciones.

- El ejercicio de esta potestad va aparejada con la de regular en la generalidad de los países analizados.

- No se observa la intervención o manejo de este tema por parte de agentes privados u operadores de la actividad.

- La aplicación de esta potestad se observa a lo largo de toda la actividad nuclear.

- La mayor o menor importancia en la matriz energética pareciera justificar la intervención del Consejo de Estado francés en la aplicación de sanciones. Asimismo, el rechazo a esta energía podría justificar la intervención de órganos administrativos centralizados en el caso español.

2.4.5. Potestad de Información

Dentro de las funciones que ejerce el órgano regulador, la difusión, recopilación, coordinación y acceso a la información puede ser determinante con miras a dar seguridad a la población.

Las legislaciones analizadas imponen, de distintas maneras, métodos de acceso y comunicación al público y a otras entidades estatales o gubernamentales, de la información respecto de materiales, tecnologías e instalaciones nucleares.

Debemos distinguir entre:

a. Obligaciones del regulador con respecto al público general

Todos los países estudiados, sin excepción, contienen disposiciones referidas a entregar información a la opinión pública respecto del desarrollo de su función.

En general, esta obligación se impone mediante la redacción de informes periódicos, habitualmente anuales, como es el caso de España, República Checa, Canadá y Estados Unidos, donde se da cuenta del estado en que se encuentra el funcionamiento de plantas e instalaciones nucleares, hechos de relevancia y las principales acciones emprendidas por el regulador.

Por otra parte, existen países que ejercen la función de información por medio de leyes especiales de acceso a ésta. Este es el caso de Finlandia, en que la sección 78 se remite a la Ley de Transparencia de Actividades de Gobierno, para otorgar el acceso a documentos públicos, sin perjuicio del deber de observancia del secreto impuesto en determinados casos.

En este mismo sentido, Francia dictó en el año 2006 la "Ley de Transparencia y Seguridad", que establece en su artículo 1° que la "*Transparencia en el ámbito nuclear consiste en marco normativo adoptado con el fin de asegurar el derecho de todas las personas de acceder a información fiable respecto de la seguridad nuclear*." Para dichos efectos, se reconoce el derecho a toda persona de ser informada respecto de los riesgos asociados a la actividad nuclear, a sus impactos sobre el medio ambiente y la salud y seguridad de la población. La Ley contiene un título especial dedicado a la regulación del ejercicio del derecho a la información con respecto a la seguridad nuclear y la protección de la radiación, que hace responsable al Estado de informar a la población acerca estas materias. Esta obligación permite a toda persona solicitar información, en determinadas circunstancias, lo que incluye tanto a los titulares de licencias como a transportistas de sustancias radioactivas o que contengan dichas sustancias. En complemento con lo anterior, obliga a conformar comités de información locales para que hagan seguimiento y entrega a la comunidad local de información relativa al estado de la seguridad nuclear, protección de impactos ambientales en personas y el medio ambiente producto de las actividades nucleares llevadas a cabo en una o varias plantas.

Otro ente regulador que realiza funciones específicas respecto de información pública es la NRC de los Estados Unidos. En el desarrollo de sus funciones y, sin perjuicio de las disposiciones contenidas en la Ley de Liberación de la Información (*Freedom of*

Information Act 5 U.S.C. 552), esta agencia contempla la realización de charlas, simposios, informes para conocimiento público. A su vez, las reuniones o sesiones de los órganos asesores de esta agencia son normalmente abiertas al público. Adicionalmente la NRC publica las normas en proceso de elaboración o discusión en el Registro Federal, que es el canal gubernamental por el cual se da a conocer al público la elaboración de normas[388]/[389].

Por su parte, Ley de Nacional de la Actividad Nuclear Argentina establece la obligación para la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de actualizar en forma permanente la información tecnológica de las centrales nucleares en todas sus etapas y disponer del aprovechamiento óptimo de la misma. Sin embargo, ni la CNEA ni la Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina tienen obligaciones específicas con respecto a la información pública o de brindar acceso a ella. Por el contrario, esta última tiene entre sus funciones la protección de la información catalogada como "restringida" en razón de la preservación de secretos tecnológicos, comerciales o industriales.[390]

b. Obligaciones de información entre el regulador y otros órganos o entes de la administración estatal

El ejercicio de la función de información impone al órgano regulador la obligación de entregar reportes a otros órganos estatales, en determinadas circunstancias. Este deber de información proporciona a otros entes administrativos o estatales información que es utilizada con distintos propósitos.

Por ejemplo, España, conforme lo dispone el artículo 2° letra b) de la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) obliga a emitir informes al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio relativos a la seguridad nuclear, protección radiológica y protección física, en forma previa a que el Ministerio adopte decisiones en materia de concesión de autorizaciones de instalaciones, transporte de sustancias nucleares o materiales radioactivos.

En el caso de Estados Unidos, la NRC tiene la obligación de realizar informes dirigidos al Congreso, con respecto a accidentes mayores que se verifique en Plantas Nucleares. Por su parte, en los casos en que un tribunal solicite información contenida en los archivos de la NRC, se prohíbe expresamente a cualquier funcionario la entrega información o dar testimonios sin contar con la aprobación oficial de la NRC.

[388] http://www.nrc.gov consultada el 1/12/2009.
[389] Algo similar ocurre en Alemania con las propuestas de regulación dictadas por el Comité Nuclear de Tecnología, las que son publicadas por el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación Natural y Seguridad Nuclear con los mismos fines.
[390] Artículo 16,j) de la Ley Nacional de la Actividad Nuclear

La Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN) francesa, así como el titular de una licencia, y otros servicios del Estado, tienen la obligación de entregar información que les haya sido solicitada por parte de los Comités Locales, de acuerdo a las disposiciones legales. La LTSN francesa también creó un órgano relacionado con la información, llamado "Alto Comité de Transparencia", el cual es integrado por 2 diputados, 2 senadores, representantes de los comités de información locales, representantes de asociaciones de protección ambiental, sindicatos de trabajadores, científicos, técnicos, economistas y representantes de la ASN. Este órgano está dotado de competencias relacionadas con la entrega de información con respecto a los riesgos asociados a la actividad nuclear y su impacto en la salud de la población y el medio ambiente. En este sentido, está abocado a asegurar el acceso de la información en materias de seguridad nuclear y puede proponer medidas que aseguren la transparencia en el ámbito nuclear. En el ejercicio de sus funciones puede requerir información consideradas como necesarias para su fin tanto a la ASN, a los comités locales y a cualquier otro órgano estatal.[391]

La Ley de Seguridad y Control Canadiense establece incluso que la Comisión debe hacer entrega a organismos internacionales o agencias de países con los cuales tenga algún convenio al respecto, de toda la información relativa al desarrollo y producción de la seguridad nuclear, así como de la producción, posesión y uso de sustancias radioactivas.

c. Síntesis

- Por regla general, los Estados con alto desarrollo de la actividad de generación eléctrica a partir de energía nuclear contemplan en su legislación mecanismos de acceso a la información pública, ya sea a partir de una ley específica sobre acceso a la información, o bien, a través de la imposición directa al regulador mediante la Ley que le asigna competencias y funciones.

- El acceso a la información pública implica obtener todos los antecedentes que permitan conocer los posibles riesgos y eventuales daños que el desarrollo de la actividad nuclear pudiera implicar sobre la salud de la población y el medio ambiente.

- Su limitación se justifica por ser considerada secreta o reservada, pudiendo incluso la ley fijar criterios para considerar que determinada información cae en esa categoría.

[391] República Checa también considera normas de información de la autoridad reguladora a los municipios y concejos distritales respecto al estado del manejo de residuos nucleares en sus territorios.

- La información que maneja el regulador no sólo sirve para informar al público respecto del estado de la seguridad en las instalaciones nucleares o del manejo de sustancias y materiales nucleares. El órgano regulador se constituye en una importante fuente de información para otros poderes del Estado, como el legislativo o judicial, a la hora de respectivamente discutir leyes, o bien, determinar responsabilidades asociadas a incumplimientos, infracciones o daños en el ejercicio de la actividad.

- Del mismo modo señalado en el punto anterior, el órgano regulador puede aportar importante información a entidades territoriales como municipios, distritos, provincias, etc., en las que se han emplazado o se pretendan emplazar instalaciones nucleares. Dicha información permite a las autoridades de dichos territorios tener mayor certeza del estado y el funcionamiento de la actividad generadora.

- La entrega o apertura en la información puede incluso extenderse al ámbito internacional, mediante el aporte de información relativa al ejercicio de la actividad de un determinado país, lo que facilita también la transparencia internacional respecto del uso pacífico de la actividad nuclear.

2.4.6. Potestad de Ejecución.

En general, la ejecución en forma directa de acciones o funciones asociadas al manejo de sustancias radiactivas no es ejercida directamente por órganos del Estado. Aún cuando tenga un modelo de explotación público, la actividad es desarrollada por empresas públicas especialmente creadas para el efecto.[392]

Sin embargo, es posible advertir que el ejercicio en forma directa, se centra en los siguientes ámbitos:

a. Desarrollo de actividad de investigación

Así por ejemplo, en Finlandia le corresponde al STUK la misión de desarrollar las investigaciones destinadas a aumentar la seguridad radiológica y nuclear en el país, u obtener el cumplimiento de sus instrucciones vinculantes, ejecutando la obligación

[392] Argentina es el caso de excepción más importante. Esto pues, en dicho país, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) tiene la facultad para desarrollar actividades de prospección minera; investigaciones; tiene responsabilidad en la gestión de residuos radiactivos; puede desarrollar, construir, y operar reactores nucleares experimentales; y finalmente, puede desarrollar materiales y procesos de fabricación de elementos combustibles.

incumplida a expensas del licenciatario negligente[393]. Algo similar sucede en EE.UU con la NRC, la cual está autorizada a realizar estudios e investigaciones que le asistan en la ejecución de sus diversas tareas asignadas.

b. Actividades de emergencia

Otro ejemplo donde el Estado participa de manera activa en la gestión de materiales peligrosos corresponde a situaciones de emergencia.

En el caso de Francia, por ejemplo, la Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN), toma parte en el manejo de situaciones de emergencia radiactiva que pongan en peligro al medio ambiente, y consecuentemente la salud de las personas, en particular de los empleados involucrados. De igual manera, desarrolla investigaciones técnicas en caso de accidentes nucleares[394].

La excepción más relevante a la regla general recién tratada la encontramos en Argentina. En ese país, es la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) el ente competente para llevar a cabo diversas manifestaciones de ejecución ya mencionadas anteriormente. La CNEA no constituye el órgano regulador, sino más bien un ente estatal encargado, principalmente, de la promoción y desarrollo de la energía nuclear en el país trasandino.

c. Manejo de Residuos

Si tenemos en cuenta que las manifestaciones de ejecución por parte de un órgano estatal son excepcionales, sólo podríamos entender que se presentan en forma consistente, en ciertas legislaciones, en lo que respecta a la etapa final del ciclo nuclear, vale decir, en lo relativo a la disposición final de residuos radiactivos.[395]

[393] Como excepción, podemos mencionar que el Ministerio de Comercio e Industria (**KTM)** está expresamente facultado para ordenar a los licenciatarios la adopción de medidas conjuntas vinculadas al tratamiento de desechos nucleares. Si el **KTM** considera que las medidas adoptadas por el licenciatario son insatisfactorias, el Estado puede hacerse cargo tanto de la propiedad como de la responsabilidad por los desechos, para la implementación de las medidas necesarias en lo relativo al manejo de los residuos de tal naturaleza.

[394] Lo anterior aplica para España a través del Consejo de Seguridad Nuclear, y en parte para la República Checa, a través de la SUJB, con excepción de lo relativo al manejo de desechos radiactivos.

[395] Un caso de excepción es Canadá. En este país, la organización sin fines de lucro, *Waste Management Organization* (WMO), debe ofrecer la administración de los desechos a largo plazo, a todos los dueños de desechos nucleares producidos en Canadá, a un justo y razonable costo. Esta organización fue establecida a través de las compañías de energía nuclear dueñas de tales residuos.

En este sentido, el organismo estatal respectivo puede hacerse responsable directamente de la disposición final de estos desechos, tal como ocurre en Argentina o en República Checa[396].

También encontramos situaciones en las cuales el organismo estatal adquiere una responsabilidad subsidiaria a la del titular de la licencia que no ha tomado las medidas necesarias para su tratamiento, tal como ocurre en Finlandia.

Finalmente, existen países en los cuales el mismo organismo regulador se hace cargo de los estudios y evaluaciones de los planes, programas y proyectos necesarios para todas las fases de la gestión de los residuos radiactivos, tal como sucede en España.

Situación diferente ocurre en el caso de EE.UU., donde la disposición final de los residuos con altos niveles de radiactividad[397], involucra la participación de tres organismos públicos federales, esto es:

a) La Comisión de Regulación Nuclear (NRC), que formula e implementa las regulaciones que aseguren un almacenamiento y disposición de dichos residuos, conforme a estándares de seguridad a largo plazo.

b) El Departamento de Energía (DOE), que asume la responsabilidad de disponer de los residuos con altos niveles de peligrosidad, además de desarrollar tecnologías y programas para el manejo, tratamiento, almacenaje, transporte y disposición de los mismos. Consecuente con lo anterior, se autoriza al Secretario de Energía para llevar a cabo la construcción y operación de un depósito geológico.

c) La Agencia de Protección Ambiental (EPA), que debe establecer los estándares de protección ambiental conforme lo dispone el "Programa de Protección de Radiación", que deben ser implementados por la NRC y el DOE, en sus respectivos ámbitos de competencia.

Así pues, la autorización es otorgada por la NRC al gobierno federal, que se hace responsable de la "ejecución de dichos sitios", debiendo quienes operan las plantas, hacerse cargo de la obligación de financiar los costos involucrados.

---

396 En República Checa, el Ministerio de Comercio e Industria estableció una *Autoridad de Repositorios para Desechos Radiactivos* (SÚRAO), que se debe comprometer a preparar, construir, comisionar, operar y cerrar estos repositorios; manejar los desechos radiactivos; acondicionar el combustible nuclear gastado para su disposición final, o bien, para su reutilización, entre otras labores.

397 Respecto de la disposición final de residuos con bajo nivel de radioactividad, se permite su manejo conforme a las regulaciones y responsabilidades de cada Estado, salvo aquellos generados por actividades de defensa nacional, o por el desarrollo de proyectos de investigación a nivel federal.

En el mismo orden de ideas, en Alemania las autoridades federales son responsables del establecimiento y operación, de las instalaciones destinadas a la contención segura y disposición final de los residuos radiactivos.

La construcción y operación de estos establecimientos, que se encuentran bajo la responsabilidad de la Oficina Federal de Protección Radiológica, debe ser aprobada de acuerdo a un procedimiento de planificación del uso del suelo, llevados a cabo por las autoridades del Länder, en que se encuentra situada la instalación respectiva.

Tanto la federación, como los estados miembros de la misma, pueden recurrir a terceros para los efectos de cumplir con sus obligaciones relativas a la disposición final de residuos nucleares.

d. Facultad de intervenir instalaciones nucleares

Finalmente, el Estado puede intervenir directamente las instalaciones nucleares en aquellos casos donde se ha constatado infracciones graves que pongan en riesgo la seguridad de la planta, como es el caso de Finlandia.

e. Síntesis

- La facultad de ejecución, tal como se expresó en un comienzo, es sumamente excepcional, e inclusive prácticamente inexistente en la mayoría de los marcos regulatorios de los países analizados.

- Tal vez, podría entenderse que existe un patrón común en torno al desarrollo de investigaciones por parte del servicio estatal competente, teniendo un concepto bastante holgado de la facultad en comento, dadas las precisiones ya mencionadas, sobre todo relativas a la inexistencia de efectos directos en el medio ambiente producto de ellas.

- Finalmente, en un segundo orden de similitudes, existen facultades de ejecución relativas al manejo de residuos radiactivos en varias de las legislaciones analizadas.

2.4.7. Potestad de Coordinación

El problema de la coordinación se plantea principalmente en aquellos países en los cuales las funciones más importantes relativas al uso pacífico de la energía nuclear se encuentran entregadas a más de una entidad, en oposición a aquellos en que las mencionadas funciones se encuentran radicadas en un solo órgano.

Dentro del primer modelo encontramos a Argentina, Canadá, República Checa, EE.UU., y en cierta medida el Reino Unido. En el segundo modelo, se enmarcan Finlandia, España y Francia. Finalmente, encontramos a Alemania que constituye un caso difícil de clasificar en estas categorías, atendida las particularidades que presenta el sistema federal en dicho país.

En este sentido, un aspecto que cobra especial relevancia se refiere a la forma como se enfrenta la evaluación ambiental del proyecto, en relación al análisis correspondiente a los aspectos de seguridad radiológica, considerando que en todos los países existe una institucionalidad ambiental la cual debe evaluar los impactos de proyectos de alto impacto.

De la revisión de los países, se encuentran diversos modelos. En algunos casos, como Argentina, la labor de seguridad ambiental es efectuada de manera conjunta, por parte de la autoridad reguladora nuclear. Existen otros casos, donde la evaluación se efectúa de manera conjunta pero separada al momento de solicitar la respectiva autorización.

Finalmente, otros países han optado por respetar y reconocer las potestades de la autoridad ambiental, el que corresponde a un requisito previo para la autorización referida a la seguridad radiológica, como es el caso de Finlandia y Brasil.

En definitiva, se ha podido apreciar que existen características comunes a ciertos países, lo que permiten distinguir tres diferentes modelos para la coordinación entre las diferentes entidades que tienen injerencia en el manejo de sustancias radiactivas:

2.4.7.1 Primer Modelo.

Este modelo se caracteriza porque las funciones de regulación, fiscalización y autorización se encuentran radicadas en un solo ente estatal, el cual está estructurado de forma tal de que existe la debida coordinación y armonía entre los diversos departamentos u oficinas encargados de la ejecución de dichas funciones.

Adicionalmente, la autoridad reguladora debe coordinarse con otros órganos del Estado en aquellos asuntos que sean también de competencia de estos últimos, como ocurre normalmente con la protección ambiental, seguridad laboral, transporte, entre otros.

Un caso paradigmático encontramos en Argentina, donde la Autoridad de Regulación Nuclear (ARN) es el órgano regulador y fiscalizador, y al mismo tiempo el responsable del otorgamiento de autorizaciones, incluso efectúa la evaluación de impacto ambiental de aquellas actividades que licencia.

Otro caso bastante ilustrativo lo encontramos en EE.UU. y el NRC, entidad compuesta por numerosas oficinas a través de las cuales ejerce las facultades de regulación, fiscalización y autorización. Además, existen oficinas expresamente encargadas de la coordinación entre la NRC y otros órganos estatales tales como el Department of State, Department of Transportation, Department of Labor, en aquellas materias en que puedan tener interés. Particular relevancia presenta la relación entre el NRC con la Environmental Protection Agency. Al respecto cabe señalar que la EPA tiene la autoridad final para establecer las normas de aplicación general destinadas a proteger el medio ambiente, sin distinguir si la amenaza proviene de materiales radioactivos o no.

En Canadá, el órgano regulador es la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC) el cual está encargado de establecer la política normativa sobre asuntos relativos a la salud, prevención de accidentes, seguridad y medio ambiente. También le corresponde fiscalizar el cumplimiento de sus regulaciones, al igual que administrar el sistema de otorgamiento de licencias. Esta última tarea, es conducida por la CNSC en cooperación con las agencias y departamentos gubernamentales federales y provinciales en aquellas materias que son de su competencia, tales como: transporte, mano de obra y medio ambiente.

De esta forma, la CNSC toma en cuenta las observaciones e inquietudes de estos departamentos antes de otorgar un permiso, logrando así una debida coordinación de funciones con los diversos órganos del Estado. Vinculado a esto, la legislación canadiense exige además llevar a cabo una Evaluación Medioambiental previa para identificar si un proyecto en particular podría causar efectos medioambientales significativamente adversos. La Evaluación Ambiental, ya sea para construir nuevas plantas nucleares o para la renovación de instalaciones existentes se lleva a cabo por la CNSC, bajo la autoridad de la Federal Government's Canadian Environmental Assessment Agency.

En el Reino Unido, la autoridad regulatoria corresponde a la Health and Safety Executive (HSE). La HSE es una agencia pública e independiente que se relaciona con la administración central por intermedio del Departamento de Trabajo y Pensiones. Esta agencia es la autoridad encargada de otorgar licencias a las instalaciones nucleares, a través de la Nuclear Installations Inspectorate (ó Dirección Nuclear) estableciendo así las condiciones necesarias para garantizar la seguridad nuclear. Por su parte, las diversas agencias medioambientales, están investidas de competencias generales para asegurar la protección del medio ambiente, en particular en lo relativo a la disposición de desechos radiactivos provenientes de instalaciones nucleares.

Finalmente, tenemos a República Checa donde la autoridad regulatoria corresponde a la Oficina Estatal para la Seguridad Nuclear (SÚJB). Es de competencia de la SÚJB la

regulación de la seguridad nuclear, la protección física y radiactiva en las instalaciones nucleares y el manejo de los desechos radiactivos. Además, la SÚJB tiene a su cargo el otorgamiento de licencias para el desarrollo de actividades nucleares. Para ello se coordina con el Ministerio del Medio Ambiente, en tanto este último debe velar para que se respete el procedimiento establecido para las evaluaciones de impacto ambiental como prerrequisitos para el otorgamiento de licencias.

2.4.7.2. Segundo Modelo.

Este modelo lo integran Finlandia, España y Francia, y se caracteriza porque si bien las funciones de regulación y fiscalización están entregadas a la autoridad regulatoria, la potestad para otorgar autorizaciones relativas al emplazamiento, construcción u operación de una instalación nuclear es de competencia de un órgano estatal distinto.

En el caso de Francia, el Consejo de Estado ejerce la función a través de decretos, mientras que en Finlandia y España corresponde a un ministerio. No obstante, entre estos dos últimos países subsiste una diferencia. En España quien confiere la autorización es el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, que es precisamente el ministerio a través del cual interactúa el CSN con el Gobierno. En cambio en Finlandia, quien confiere la autorización es el Ministerio de Comercio e Industria (KTM), mientras que STUK se encuentra subordinado a otro ministerio, cual es el Ministerio de Asuntos Sociales y Salud.

En estos países existen diversos mecanismos de coordinación entre el ente encargado de la regulación y fiscalización de las actividades nucleares y aquel que otorga las autorizaciones. Al igual que en el modelo anterior, existen también instancias de coordinación entre la autoridad reguladora y otros órganos estatales, en relación a aquellas materias donde estos últimos ejercen sus facultades.

En Francia, la ASN está encargada de la seguridad nuclear, protección radiológica e información al público. Se trata de un órgano compuesto por cinco comisionados que se reportan a los Ministerios de Industria, Salud y Ecología y desarrollo sustentable. Se destaca su carácter independiente respecto del poder central y la labor de coordinación con los ministerios reseñados. La ASN se relaciona, además, con el gobierno en tanto debe ser consultada antes que éste emita un decreto regulatorio que conceda una autorización.

En España, el Consejo de Seguridad Nuclear, emite informes obligatorios sobre seguridad radiológica y nuclear, los cuales servirán de base para que el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio pueda otorgar una autorización.

En Finlandia, si bien STUK se vincula administrativamente con el Ministerio de Asuntos Sociales y de Salud, también debe coordinarse con otros ministerios, tales como el Ministerio del Interior en lo relativo a la seguridad y protección física de los materiales nucleares y planes de emergencia; con el Ministerio de Relaciones Exteriores en tanto éste se encarga de garantizar la no proliferación de armas nucleares; y con el Ministerio de Comercio e Industria (KTM) que es precisamente la autoridad administrativa encargada del otorgamiento de las autorizaciones como ya adelantamos.

Además, en Finlandia toda instalación nuclear debe contar con la "aprobación en principio" del gobierno, y en este contexto corresponde al KTM ejercer funciones de coordinación recopilando antecedentes necesarios para la adopción de la decisión, tales como: un informe preliminar sobre seguridad del STUK, un informe del Ministerio del Medio Ambiente y un pronunciamiento del consejo municipal responsable del área propuesta como sitio de la instalación.

De esta forma, podemos apreciar la manera como interactúan y se distribuyen las diversas tareas los entes estatales, cuando la regulación del uso pacífico de la energía nuclear compete a más de un órgano.

2.4.7.3. Tercer Modelo.

La regla general en los sistemas federales analizados, los asuntos relativos a la regulación nuclear se encuentran dentro de la esfera de jurisdicción federal. Es así como tanto la ARN en Argentina como la CNSC en Canadá y la NRC en EE.UU. ejercen su autoridad y competencia a nivel federal. En el caso de EE.UU., sin embargo, la legislación vigente permite a la NRC delegar ciertas facultades en aquellos Estados que estén dispuestos a asumirlas.

En Alemania en cambio, el sistema federal se traduce en ciertas diferencias que resulta pertinente analizar. En efecto, la estructura federal alemana juega un importante rol en la implementación de la seguridad nuclear. Mientras el Bund -Estado central-, tiene poder legislativo en el campo del uso pacífico de la energía atómica, lo cierto es que los Länder - Estados miembros - son los responsables de ejecutar la legislación federal existente, en carácter de agentes del Bund.

En este sentido, son los *Länder* quienes otorgan las licencias para la construcción y operación de las instalaciones nucleares dentro de sus respectivos territorios. Sin perjuicio de esto, el Ministerio Federal del Medioambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear tiene encomendado la supervisión de la legalidad de las actuaciones de las autoridades Estatales. Con el propósito de ejecutar la normativa de protección radiactiva y seguridad nuclear, los *Länder* designan las autoridades

responsables de acuerdo a sus propias reglas de determinación de competencias. Los *Länder* están investidos de la facultad de hacer regulaciones administrativas, para la implementación de la ley de protección nuclear y radiactiva. En caso de diferencias de opinión entre las autoridades de los *Länder,* competentes para el otorgamiento de licencias, y una agencia federal, las primeras se encuentran obligadas a solicitar instrucciones del Ministro Federal de Medioambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear.

2.5. De las salvaguardias y de su relación con las potestades públicas nacionales

Las Salvaguardias corresponden a los mecanismos mediante los cuales la comunidad internacional asegura que los materiales y tecnología nuclear son utilizadas para fines pacíficos y no para fabricar armar nucleares u otros dispositivos explosivos nucleares.

Ello se traduce fundamentalmente en tres funciones que ejercen los organismos internaciones (OIEA) sobre los Estados miembros:

i. Contabilidad. Deben informar sobre los tipos y cantidades de materiales fisionables que están bajo su control.

ii. Contención y vigilancia. Esto se traduce en el uso de mecanismos de control tales como grabaciones filmadas o televisadas en zonas relevantes de las instalaciones nucleares, de modo de identificar el movimiento de los materiales contenidos en ellas.

iii. Inspecciones. Esta actividad es efectuada por funcionarios de la OIEA, para verificar en terreno que los materiales informados corresponden a los existentes en las instalaciones.

Estas obligaciones emanan principalmente del Tratado sobre la no proliferación de armas nucleares (TNP), de 1968, el que ha sido ratificado por Chile.

De este modo, dicho tratado impone a sus Estados miembros la obligación de permitir el desarrollo de actividades de fiscalización y control que son propias de los organismos reguladores sobre la materia.

Por consiguiente, resulta pertinente analizar la forma cómo los países han recogido en sus ordenamientos jurídicos internos el cumplimiento de estas obligaciones de carácter internacional, y la forma cómo se relaciona con su institucionalidad nuclear.

Respecto al primer aspecto, reconocimiento específico en la legislación comparada, del estudio efectuado observamos que algunos países han recogido con detalle estas

actividades y la forma en que el órgano público a cargo interviene en la concreción de éstas.

En cuanto al segundo aspecto, se aprecia en la totalidad de los países analizados el establecimiento de entes independientes, tanto del poder central de cada país como de los agentes intervinientes en la producción nucleoeléctrica. La única excepción se presenta en el caso alemán, donde es un ministerio quien asume las labores de coordinación con organismos internacionales sobre este tema, sin perjuicio de las facultades que detentan los *Länders* en la implementación de la normativa en materia nuclear.

Relacionado con esto último, cabe precisar que los organismos a quienes se les ha encomendado el control de las salvaguardias y demás obligaciones internacionales son, en su totalidad, de *carácter público*, los que gozan a su turno de altos grados de independencia.

Por último, cabe agregar que la regla general es que se encomiende esta tarea a un solo órgano y que sea al mismo tiempo el órgano regulador por antonomasia en el país. Con todo, observaremos ciertas peculiaridades y duplicidad de órganos competentes, pero que no significan necesariamente un entorpecimiento en la labor desarrollada.

a. Análisis en razón a la organización política del Estado.

A este respecto nos interesa tomar conocimiento sobre si la organización del Estado incide en la manera que se dibuja a nivel interno es tema de las salvaguardias y las potestades públicas. Esta organización responde a la tradicional distinción entre estados unitarios y estados federales.

Por regla general, cada país ha establecido un organismo que se encarga de coordinar este aspecto con los organismos internacionales y de efectuar la labor de recopilación de información necesaria y que hubiere sido solicitada por aquellos. En el caso de estados federales se otorga competencia a un ente común de carácter nacional.

Un caso, excepcional, corresponde a Alemania, donde se les entrega a los Länder la labor de implementar la legislación nuclear. No obstante, se ha determinado que el Ministro de Economía y Tecnología asuma labores de coordinación.

Junto con ello, una excepción menor, pero que no altera las conclusiones de este análisis, está dada por la coexistencia de la *Oficina de Salvaguardas del Reino Unido* (UKSO) y la *Junta administrativa de control de exportaciones y no proliferación* (XNP). No obstante, ambas apuntan a segmentos productivos diferentes.

Por último, cuando se analice aquellos países que vinculan esta temática con órganos que ejercen a la vez funciones de regulación y otorgamiento de licencias o autorizaciones, se puede observar que los estados federales tienden a reunirlos en una sola mano. Sin embargo, el muestreo que se efectúa en este estudio es respecto a ciertos países y no nos permite afirmar que ello sea una tendencia mundial.

b. Análisis conforme al órgano designado.

Desde este punto de vista, podemos efectuar las siguientes consideraciones especiales sobre el tema:

Dadas las recomendaciones de los instrumentos internacionales sobre este tema, la generalidad de los países en estudio ha establecido la competencia de estos asuntos en agencias de carácter independiente del gobierno. (Estados Unidos, Canadá, Argentina, República Checa, España, Francia y Finlandia).
La excepción, como ya apuntábamos, está dada por Alemania. Reino Unido presenta una duplicidad, pero que en caso alguno significa una dependencia administrativa respecto del gobierno.

c. Fases o etapas fiscalizadas.

La generalidad de los países agrupa este tema en torno a la actividad completa, salvo el caso Británico en que la *Junta administrativa de control de exportaciones y no proliferación* (XNP) busca evitar que países no suscritos al Tratado de No Proliferación o quienes producen armamento nuclear de manera irregular puedan obtener insumos desde su territorio.

Es especial la preocupación que se observa respecto del tema de la exportación de insumos, ya que a lo largo de los países que ostentan esta energía establecen una serie de restricciones referente a la venta de materiales.

d. Según la importancia en la matriz energética.

No es posible verificar diferencias. Inclusive en Francia, donde el porcentaje de energía de fuente nuclear generada alcanza un 80%, no se observan diferencias trascendentes en comparación con los restantes países analizados.

e. Síntesis

Del análisis efectuado, podemos concluir lo siguiente:

- Tanto en países de organización política unitaria y federal se distingue que estas funciones son entregadas a un órgano parte de la administración, pero de carácter independiente del gobierno o poder central.

- En algunos países esta función la detenta precisamente el órgano al que se le ha adjudicado la potestad regulatoria en materia nuclear, lo que ha redundado necesariamente en que sea llevada a cabo por un ente independiente.

- No se observa la intervención o manejo de este tema por parte de agentes privados u operadores de la actividad.

- La aplicación de las salvaguardias se observan a lo largo de toda la actividad nuclear, llegando inclusive al ámbito de la exportación.

- La mayor o menor importancia en la matriz energética no significa mayores diferencias entre un país y otro.

2.6. Consideraciones finales

Las potestades públicas que detenta la institucionalidad nuclear en la legislación extranjera analizada, comparten características comunes que las distinguen de cualquier otro régimen jurídico. Ello es producto de la necesidad de hacerse cargo de una actividad de alto nivel de riesgo el que requiere de mecanismos jurídicos que aseguren el desarrollo de la actividad de manera eficiente y eficaz.

Sin embargo, la institucionalidad debe hacerse cargo de otros elementos, tan importantes como el efectuar un estricto control en su manejo: asegurar niveles aceptables de independencia técnica, altos grados de confianza, información y participación en la comunidad, la necesidad de coordinarse con organismos internos e internacionales, todos elementos que representan aspectos insoslayables en el diseño de un modelo institucional para el desarrollo de la energía nuclear.

Ello se ha reflejado en el desarrollo de tratados internacionales, y documentos elaborados por la OIEA, la cual entrega pautas para el diseño de una institucionalidad que cumpla con los requerimientos necesarios para su operación, los que han sido el fruto de ya más de cinco décadas de historia.

Esta circunstancia explica que existan elementos comunes y compartidos por la mayoría de los países analizados, los que se presentan de manera independiente de diversos factores tales como régimen político institucional, participación pública o privada, o la participación de la energía nuclear en su matriz energética. En definitiva,

es posible sostener que existen determinados principios o valores que deben necesariamente cumplirse y son compartidos en la legislación extranjera.

Las diferencias que se ha podido identificar se refiere a la forma como se asegura el cumplimiento de estos principios y objetivos. Ello depende de diversos factores, como la organización administrativa, la cultura jurídica, la realidad política, entre otros[398].

A modo de conclusión, se presentan aquellos elementos que se consideran los principios y factores comunes identificados a lo largo del análisis de la legislación revisada. Estos principios, no son elementos nuevos y se pueden encontrar en diversos documentos que tratan la materia, pero vale la pena presentarlos ya que servirán de guía para analizar la normativa nacional sobre la materia e identificar los vacíos y contradicciones normativas.

Los principios o ideas básicas a los cuales se hace referencia son:

- Existencia de un Órgano Regulador.

Con arreglo al artículo 8.1 de la Convención sobre Seguridad Nuclear (CSN), cada parte contratante debe constituir o designar un órgano regulador que se encargue de la aplicación del marco legislativo y reglamentario relativo a la seguridad de las instalaciones nucleares, velando porque éste se encuentre dotado de autoridad, competencia y recursos financieros y humanos adecuados para cumplir las responsabilidades que se le asignen.

Todos los países analizados han establecido en sus respectivas legislaciones a una autoridad encomendada para el ejercicio de estas funciones[399]. Es necesario además que dicho órgano cumpla con ciertas características que a continuación se analizan.

- Principio de la Independencia.

El principio de la independencia se encuentra consagrado en diversos instrumentos internacionales, tales como: La Convención sobre Seguridad Nuclear[400] y la

[398] De hecho, uno de los principios en los cuales se basa la IAEA es que cada Estado debe establecer su propio marco legislativo de acuerdo con su situación particular, sin que por ello deje de cumplir con las normas internacionales. Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tonhauser W., *Manual de Derecho Nuclear*, Viena, OIEA, 2006. Prefacio.

[399] En EE.UU.: la Nuclear Regulatory Commission (NRC); en España: el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN); en Argentina: Autoridad Regulatoria nuclear (ARN); en Canadá: Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC); en República Checa: la State Office for Nuclear Safety (SÚJB); en Finlandia: Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK); en Francia: Autorité de Sureté Nucléaire (ASN) y finalmente en el Reino Unido: la Health and Safety Commission (HSC).

Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos.

En todos los países la respectiva legislación nacional ha buscado mantener y garantizar la independencia del órgano regulador para así evitar influencias indebidas en el ejercicio de sus funciones.

En algunos casos se ha optado derechamente por establecer un órgano regulador al margen de la estructura ministerial de forma tal de que no dependa directamente del gobierno[401]. Mientras que en otros, la autoridad regulatoria depende, o a lo menos es supervisada por uno o varios ministerios o departamentos, según sea el caso. En ambos modelos sin embargo, los países han cumplido con garantizar el principio de la independencia y la diferencia en cuanto a la estructura responde más bien a la organización administrativa de cada país, sin que exista por ello un modelo que pueda ser calificado como mejor que otro.

- Principio de la Autorización

La Convención sobre Seguridad Nuclear[402] y la Convención Conjunta[403] prohíben explotar instalaciones nucleares o de gestión de desechos radiactivos sin autorización.

En todos los países analizados existe un órgano encargado de otorgar la autorización, permiso o licencia para desarrollar toda actividad relacionada con el uso de materiales y tecnología nuclear. No obstante, existen diferencias entre estos países respecto a si esta función le corresponde al mismo órgano encargado de la reglamentación, fiscalización y coerción[404] o está entregada a un órgano diverso[405]. Esta diferencia sin embargo, no es absoluta ya que incluso en estos últimos países el órgano regulador, si bien no otorga la autorización, sí participa en este proceso a través de diversos mecanismos[406].

---

[400] El artículo 8.2 de la CSN dispone que "[c]ada Parte Contratante adoptará las medidas adecuadas para velar por una separación efectiva entre las funciones del órgano regulador y las de cualquier otro órgano y entidad a los que incumba el fomento o la utilización de la energía nuclear".
[401] Como ocurre en EE.UU., España, Argentina y hasta cierto punto en Francia.
[402] Artículo 7.2(ii)
[403] Artículo 19.2(iii)
[404] Argentina, EE.UU., Canadá, República Checa,y, hasta cierto punto, el Reino Unido.
[405] Como ocurre en Finlandia, España y Francia.
[406] En Finlandia, para que una autorización sea otorgada por el Gobierno es necesario contar con un informe preliminar de STUK. En Francia, la ASN debe ser consultada por el Gobierno antes de otorgar un autorización, similar a lo que ocurre en España con el CSN.

- Principio del Control y Fiscalización.

No basta con exigir el otorgamiento previo de una autorización para garantizar la seguridad en materia nuclear, es necesario, además, dotar el órgano regulador de las potestades necesarias para asegurarse de que las actividades autorizadas se desarrollen de acuerdo con las condiciones de la autorización y en conformidad con las reglamentaciones generales.

Todos los países sin excepción, han entregado al órgano regulador en sus respectivas legislaciones, las atribuciones y facultades necesarias para que éste pueda ejercer la función de control.

- Principio de la Transparencia y de acceso a la información.

La comunidad internacional está consciente que el uso de la energía nuclear es un tema delicado y que se encuentra sujeto al escrutinio de la opinión pública. Por esta razón, en los países analizados es una constante que el órgano regulador se encargue de la recopilación, difusión y coordinación de la información relativa a las actividades reguladas. De esta forma, se pretende alcanzar un objetivo que resulta crucial para el éxito de un programa nuclear doméstico, cual es el generar confianza en la opinión pública. Existen ciertas diferencias, sin embargo, en la forma como se materializa el principio de la transparencia en las diversas legislaciones. Así algunos países han dictado leyes especiales sobre el acceso a la información relativa a las actividades nucleares, mientras en otros, estas actividades se encuentran sujetas a la normativa general respecto al acceso de la información.

- Coordinación entre los diversos órganos involucrados.

La coordinación entre los diversos órganos vinculados a la regulación de la energía nuclear resulta fundamental para evitar omisiones o una duplicación innecesaria de tareas. En aquellos países donde las principales funciones en esta materia se encuentran entregadas a un solo órgano[407], la regla general es que éste sea estructurado de forma tal de que exista la debida coordinación y armonía entre los distintos departamentos u oficinas encargadas de ejecutar estas funciones. Cuando la autoridad reguladora está formada por más de una entidad en cambio, la ley suele establecer mecanismos que aseguran que las funciones reguladoras están claramente definidas y coordinadas[408].

[407] Como ocurre en Argentina, EE.UU., Canadá, República Checa, y hasta cierto punto el Reino Unido.
[408] Como ocurre en Finlandia, España y Francia.

En todo caso, dado que existen otros órganos del Estado, que si bien no se encargan directamente de regular el uso de la energía nuclear, sus decisiones pueden tener influencia en ello, los países analizados han diseñado diversos mecanismos de coordinación para garantizar una comunicación fluida entre todos estos órganos. Así ocurre por ejemplo, con materias relativas al transporte, importación y exportación de materiales radioactivos, con materias vinculadas a la seguridad de los trabajadores, y más importante aún, con aquellos asuntos relacionados con la protección del medio ambiente.

3. Análisis de la estructura y potestades de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)

3.1. Consideraciones generales

La Comisión Chilena de Energía Nuclear (en adelante, "la CCHEN" o "la Comisión") es un organismo de administración autónoma del Estado, que se relaciona con el Gobierno por medio del Ministerio de Energía. La CCHEN está sujeta a la fiscalización de la Contraloría General de la República, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley Orgánica de esta última. La estructura, funciones y potestades de la CCHEN se encuentran reguladas, fundamentalmente, en la Ley N° 16.319 que crea la CCHEN (en adelante "Ley CCHEN") y en la Ley N° 18.302 sobre Seguridad Nuclear (en adelante "LSN").

El objeto de la CCHEN es atender a los problemas relacionados con la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de la energía atómica y de los materiales fértiles, fisionables y radioactivos (art. 3 Ley CCHEN).

3.2. Estructura de la CCHEN

La CCHEN es dirigida y administrada por un Consejo Directivo y un Director Ejecutivo. Los miembros del Consejo Directivo y el Director Ejecutivo son elegidos entre personas que por su función, profesión u oficio, tienen vinculaciones con las funciones propias de la Comisión (art. 9 Ley CCHEN).

Todos los miembros del Consejo Directivo son designados por el Presidente de la República, a proposición de diversas autoridades, tales como el Ministro de Energía, el Ministro de Salud, el Consejo de Rectores y los Comandantes en Jefe de las Fuerzas Armadas. Los Consejeros duran en su cargo un periodo de tres años, salvo que dejen de contar con la confianza del Presidente de la República. Además, se exige legalmente que todos sean chilenos. El Director Ejecutivo es designado con arreglo al sistema de Alta Dirección Pública.

La base de la estructura de la CCHEN se compone de 7 Departamentos operativos que abarcan temas desde la seguridad nuclear y radiológica hasta la investigación, desarrollo e innovación en la física de plasmas termonucleares. Dichos Departamentos son los siguientes:

- Departamento Seguridad Nuclear y Radiológica.
- Departamento Protección Radiológica y Ambiental.
- Departamento de Sistemas y Administración.
- Departamento Producción y Servicios.
- Departamento de Aplicaciones Nucleares.
- Departamento de Materiales Nucleares.
- Departamento de Plasma Termonuclear.

El patrimonio de la CCHEN se forma principalmente por los aportes que le concede anualmente la Ley de Presupuestos de la Nación, y los que le otorguen otras leyes especiales; sin perjuicio de la existencia de entradas procedentes de prestación de servicios, arriendos o explotación de bienes pertenecientes a la Comisión (art. 4 Ley CCHEN).

3.3. Potestades de la CCHEN

3.3.1. Potestades de ejecución

Tanto la LSN como la Ley CCHEN le confieren a la Comisión importantes potestades de ejecución, con arreglo a las cuales debe:

Asesorar al gobierno en todos los asuntos relacionados con la energía nuclear, y en especial, en el estudio de tratados, acuerdos, convenios con otros países o con organismos internacionales (art. 3 a) Ley CCHEN);

Elaborar y proponer al gobierno los planes nacionales para la investigación, desarrollo, utilización y control de la energía nuclear; poniéndolos en ejecución una vez aprobados (art. 3 b) y c) Ley CCHEN);

Propiciar la enseñanza, investigación y difusión de la utilización de la energía nuclear (art. 3 e) Ley CCHEN);

Hacerse cargo de la mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radioactivos de larga vida (en los demás casos, los depósitos de desechos radioactivos serán de responsabilidad de la persona que los tenga a su cargo) (Art 32 de la LSN); y

Fomentar, realizar o investigar, según corresponda, la exploración, la explotación y el beneficio de materiales atómicos naturales, el comercio de dichos materiales, y la producción y utilización, con fines pacíficos, de la energía nuclear en todas sus formas, en particular, la generación de energía eléctrica y térmica (art. 3 d) Ley CCHEN).

En relación con este último aspecto, es importante tener en consideración que, conforme al art. 7 de la Ley CCHEN, las funciones y atribuciones que la ley entrega al Estado respecto de la exploración, explotación y beneficio de materiales atómicos naturales, del comercio de dichos materiales ya extraídos, y del acopio de materiales de interés nuclear, solamente podrán ejercerse por la Comisión.

Además, según dispone el mismo artículo, la producción de energía nuclear con fines pacíficos solo puede realizarse por la CCHEN o con su licencia previa, pudiendo la Comisión desarrollar esta producción por si o por medio o en unión de terceros.

Finalmente, con arreglo al art. 8 del referido texto legal, por exigirlo el interés nacional, los materiales atómicos naturales y el litio extraídos, no podrán ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos, sino cuando ellos se ejecuten o celebren por la CCHEN, con ésta o con su autorización previa.

3.3.2. Potestades fiscalizadoras

Según dispone el art. 2 de la LSN, corresponde a la CCHEN, y al Ministerio de Energía en su caso, la regulación, la supervisión, el control y la fiscalización de todas las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear y con las instalaciones y las sustancias nucleares y materiales radioactivos que se utilicen en ellas, como de su transporte.

De esta forma, para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento, en su caso, de las instalaciones y plantas nucleares, así como para el ingreso o transito por el territorio nacional de sustancias nucleares o materiales radioactivos; se necesitará autorización de la CCHEN. Tratándose de centrales nucleares de potencia, plantas de enriquecimiento, plantas de reprocesamiento y depósitos de almacenamiento permanente de residuos, la autorización deberá ser otorgada por Decreto Supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía. Se prohíbe la autorización del almacenamiento de desechos nucleares o radioactivos en el territorio nacional, salvo que se produzcan u originen en él (art. 4 LSN).

En general, las potestades fiscalizadoras otorgadas a la CCHEN tienen por objeto verificar (art. 20 LSN):

- El cumplimiento de la LSN y las demás leyes vinculadas a la CCHEN;
- El cumplimiento de las condiciones y las exigencias fijadas en las autorizaciones concedidas;
- El cumplimiento de las instrucciones y reglamentaciones dictadas por el Consejo Directivo de la CCHEN;
- El correcto estado de instalación, operación y manejo de equipos, materiales, locales, etc.;
- La situación del personal en orden a su seguridad;
- La existencia y aplicación de las medidas de seguridad y de los planes de emergencias;
- Las posibilidades y riesgos de eventuales fallas, anomalías, defectos, mal uso de la instalación o de sustancias nucleares y accidentes que causen daños nucleares; y
- El cumplimiento de las medidas que aplique la CCHEN en caso de infracciones.

La CCHEN ejerce sus potestades de supervisión, control y fiscalización por medio de inspectores especializados pertenecientes a la planta de su personal. Los inspectores podrán ingresar a inspeccionar, en todo momento, cualquier instalación, planta, centro y laboratorio nuclear. Especialmente deberán hacerlo cuando se sospeche o se denuncie que alguna instalación, local o medio de transporte esté en situación de producir daño a la salud y seguridad de las personas, a los bienes, a los recursos naturales o al medio ambiente; o que en ellos existe contaminación radioactiva o se están utilizando, manipulando o guardando sustancias nucleares o materiales radioactivos en forma indebida (arts. 20 a 24 LSN).

Los titulares de la correspondiente autorización, o bien, los explotadores o encargados de una instalación, planta, centro y laboratorio nuclear, deberán dar a los inspectores todas las facilidades para el cabal cumplimiento de sus funciones y obligaciones, proporcionándoles toda la información que les sea requerida y permitiéndoles el acceso a todas las dependencias (art. 25 LSN).

Durante la inspección, los inspectores se encuentran facultados para (art. 30 LSN):

- Emplear cualquier instrumental o equipo que necesiten para su labor;

- Llevar a cabo cualquier comprobación que consideren necesaria o pertinente;

- Tomar muestras de cualquier material o equipo que tenga relación con los propósitos de su inspección; y

- Examinar, sacar copias, tomar notas o hacer resúmenes de cualquier libro, registro u otro documento que contenga información relacionada con la materia de la inspección.

Los inspectores, comprobadas la efectividad de los hechos que deben verificar, informarán de inmediato a la CCHEN, la que dispondrá las medidas que estime necesarias. Cuando esos hechos entrañen riesgos de daño a la salud y seguridad de las personas, a los bienes, a los recursos naturales o al medio ambiente, los inspectores podrán ordenar, según el caso, algunas de estas medidas (arts. 26 y 27 LSN):

Que la instalación sea puesta en efectivas condiciones de normalidad y de seguridad tan pronto sea posible;

- Que el lugar o medio de transporte sea evacuado, cerrado y debidamente sellado;

- La incautación de cualquier sustancia nuclear o material radioactivo que esté en situación de dañar a las personas o al medio ambiente; y

- La suspensión inmediata de las operaciones de la instalación hasta por 60 días, cuando la gravedad de la infracción y el peligro que de ella derivare hacia las personas lo hiciere necesario.

- En caso de oposición al cumplimiento de sus funciones o de las medidas impuestas, los inspectores podrán solicitar directamente el auxilio de la fuerza pública, previa autorización escrita de la CCHEN (art. 28 LSN).

En relación con estas potestades, un aspecto relevante a tener en cuenta es que, según dispone el art. 32 de la LSN, cuando las actividades de que trata el art. 1 de la LSN (actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear y con las instalaciones y las sustancias nucleares y materiales radioactivos que se utilicen en ellas, como de su transporte) sean realizadas por la CCHEN, ésta quedará sujeta a todas las prescripciones y exigencias legales y reglamentarias, incluida la sujeción a la supervisión, el control y la fiscalización de dichas actividades.

Aun cuando la intención del legislador es loable – no consagrar diferencias entre la CCHEN y los particulares que desarrollan actividades relacionadas con usos de la energía nuclear, en conformidad a lo dispuesto en los arts. 19 N°s 2 y 22 de la Constitución Política– no puede desconocerse que, atendido nuestro marco institucional vigente, dicha igualdad de condiciones entre la CCHEN y los licenciatarios privados implica, en la práctica, establecer un sistema en que la CCHEN se autorregula, dando origen a una serie de deficiencias regulatorias tanto en el plano práctico como en el teórico.

3.3.3. Potestades normativas

El artículo 10 de la Ley de la CCHEN establece las potestades y facultades cuyo ejercicio corresponde al Consejo Directivo de dicha entidad. De estas potestades, una de las más relevantes es la normativa o regulatoria, la cual se encuentra íntimamente relacionada con la potestad fiscalizadora que reseñamos con anterioridad. En ejercicio de la potestad normativa que le reconoce la ley, el Consejo Directivo de la CCHEN debe:

- Proponer al Gobierno las normas y reglamentos para la ejecución de las obras relacionadas con la utilización de la energía atómica; para la producción, el manejo, transporte y almacenamiento de los materiales fértiles, fisionables y radioactivos, incluidos los residuos; y para ejercer el control de todas estas actividades (art. 10 b) Ley CCHEN).

A proposición del Consejo Directivo de la CCHEN, el gobierno nacional, por intermedio del Ministerio de Minería, ha dictado los siguientes reglamentos relativos a las actividades señaladas:

- Reglamento N° 3 del año 1984, sobre protección radiológica de instalaciones radioactivas

- Reglamento N° 12 del año 1985, para el transporte seguro de materiales radioactivos.

- Reglamento N° 87 del año 1984, sobre protección física de las instalaciones y de los materiales nucleares.

- Reglamento N° 133 del año 1984, sobre autorizaciones para instalaciones radioactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeñe en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines.

En virtud de la creación del Ministerio de Energía por medio de la Ley N° 20.402, en adelante los reglamentos que sean propuestos por el Consejo Directivo de la CCHEN deberán ser dictados por intermedio del referido Ministerio.

- Adoptar los acuerdos tendientes al cumplimiento del objeto de la CCHEN (atender a los problemas relacionados con la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de la energía atómica y de los materiales fértiles, fisionables y radioactivos) (Art. 10 c) Ley CCHEN).

En consecuencia, el Consejo Directivo de la CCHEN no sólo se limita a proponer normativas o reglamentos, sino que dispone de una potestad normativa autónoma que le permite dictar instrucciones y reglamentaciones – fundamentalmente normas técnicas y de seguridad - que son de carácter vinculante para los licenciatarios privados (y para la misma Comisión, cuando ejecuta actividades vinculadas al uso pacífico de energía nuclear, según veíamos), y cuyo cumplimiento es permanentemente verificado por los inspectores de la CCHEN. El incumplimiento de estas reglamentaciones puede dar lugar a la aplicación de una o más de las medidas coercitivas dispuestas en el art. 27 de la LSN, y su infracción genera las sanciones a que nos referiremos a continuación.

Un claro ejemplo de esta potestad normativa autónoma del Consejo Directivo de la CCHEN, es la Norma CCHEN de Seguridad NCS-GG-02 sobre "Procedimientos de licenciamiento de instalaciones nucleares o radioactivas de la Comisión Chilena de Energía Nuclear".

3.3.4. Potestades sancionatorias

De acuerdo con los artículos 33 y ss. de la LSN, corresponde a la CCHEN conocer y sancionar las infracciones de las normas legales y reglamentarias sobre seguridad y protección nuclear y radiológica; así como el incumplimiento de las condiciones y exigencias de las autorizaciones que otorga o de las instrucciones y medidas que adopta.

Las sanciones que pueden ser aplicadas por la CCHEN son las siguientes (art. 34 de la LSN):

- Multa, a beneficio fiscal, de entre 10 y 10.000 U.F.
- Suspensión de la autorización para cualquier actividad relacionada con la energía nuclear y los materiales nucleares, hasta por un año; y
- Revocación definitiva de la autorización.

Puede reclamarse de la sanción ante la propia CCHEN, y contra la sentencia que falle la reclamación procederá recurso de apelación, en el solo efecto devolutivo, para ante la Corte de Apelaciones de Santiago (arts. 36 y 37 de la LSN).

Lo señalado anteriormente no obsta a la existencia de una serie de delitos contra la seguridad nuclear y a la persecución de las responsabilidades civiles que se generen con ocasión de daños nucleares.

3.3.5. Potestades de coordinación

En lo que respecta a las potestades de coordinación, el art. 4 de la LSN dispone que, para el otorgamiento de las autorizaciones de que trata dicho cuerpo legal, deberán considerarse, en todo caso, las condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación.

Por otra parte, el art. 10 del referido texto legal establece que, con el fin de velar por que el transporte de sustancias nucleares o materiales radioactivos se haga en la forma más segura, directa y rápida posible, la Dirección Nacional de Aduanas tramitará y despachará su envío en forma preferente, y no podrá abrir los bultos en tránsito sin previa citación del remitente o destinatario responsable y en presencia de un inspector de la CCHEN.

Sin perjuicio de lo señalado, la disposición legal que presenta mayor relevancia en este ámbito es la del art. 31 de la LSN, conforme al cual, en el cumplimiento de sus funciones inspectivas la CCHEN podrá colaborar con otras entidades públicas, especialmente con aquellas que desempeñen funciones en aspectos análogos; y a la vez, solicitar colaboración de esas entidades en el ejercicio de sus facultades propias.

3.3.6. Potestades informativas

Finalmente, cabe señalar que en virtud del art. 3 h) de la Ley CCHEN, la Comisión debe proporcionar a las Comisiones de Minería y Energía y de Economía de ambas ramas del Congreso una memoria conteniendo el desarrollo de sus actividades.

Aun cuando no constituyen potestades informativas propiamente tales, resulta conveniente exponer en este apartado las obligaciones de informar impuestas a los particulares por los arts. 17 y 18 de la LSN:

- Toda persona que, directa o indirectamente, tuviere noticias de un accidente o cualquiera otra anormalidad en el funcionamiento de instalaciones o equipos nucleares o en las demás actividades relacionadas con los usos de la energía nuclear y de los materiales nucleares, deberá ponerlas en conocimiento de la CCHEN o de sus inspectores en un máximo de 24 hrs; y
- Toda persona que, directa o indirectamente, tuviere noticias del abandono, pérdida, hurto o robo de sustancias nucleares o materiales radioactivos, o las hallare abandonadas o extraviadas, deberá ponerlas en conocimiento de la CCHEN o de sus inspectores en un máximo de 24 hrs.

4. Identificación de vacíos y contradicciones normativas respecto de la estructura y potestades del órgano regulador chileno (CCHEN)

4.1. Insuficiente independencia funcional del órgano regulador.

En primer lugar, es necesario señalar que la CCHEN, en cuanto órgano regulador en Chile del uso pacífico de la energía nuclear, no satisface las exigencias establecidas por la Convención de Seguridad Nuclear (CSN) y por la International Atomic Energy Agency (IAEA) en orden a generar una separación efectiva de funciones entre los órganos encargados de promover y fiscalizar el uso de energía nuclear.

En efecto, según dispone el art. 8.2. de la referida Convención, "*Cada Parte Contratante adoptará las medidas adecuadas para velar por una separación efectiva entre las funciones del órgano regulador y las de cualquier otro órgano y entidad a los que incumba el fomento o la utilización de la energía nuclear*".

Por su parte, la OIEA ha determinado la existencia de ciertas condiciones previas para la seguridad de las instalaciones y actividades nuclear. De ellas se derivan una serie de requisitos que deben cumplir los mecanismos legislativos y gubernamentales de los Estados, en lo que al organismo regulador se refiere, entre los cuales destaca la necesidad de establecer y mantener un órgano regulador que debe ser efectivamente independiente de las entidades u órganos encargados de promover las tecnologías nucleares o responsables de las instalaciones o las actividades.

En este sentido, la CCHEN, de acuerdo a su ley orgánica, ostenta simultáneamente funciones de promoción o fomento y de regulación, fiscalización, ejecución y sanción de la energía nuclear con fines pacíficos; lo que puede prestarse para un inadecuado cumplimiento de estas últimas funciones.

4.2. Insuficiente independencia personal del regulador.

En segundo término, la actual composición de los miembros del Consejo Directivo de la CCHEN y su Presidente, así como la forma de selección, designación y destitución, no garantizan que el personal directivo del órgano regulador tenga la idoneidad y autoridad que se establecen como necesarias o suficientes de acuerdo al artículo 8.1. de la CSN. En efecto, la actual legislación, en particular, el artículo 9º de la LCCHEN, establece que todos los miembros de su consejo directivo y su presidente sean nombrados por el Presidente de la República, a proposición de diversos Ministros de Estado, Consejo de Rectores y comandantes en jefe de las Fuerzas Armadas.

Adicionalmente, el mencionado artículo de la LCCHEN, solo establece como requisito para designación que se trate de personas que, por razón de su función, profesión u

oficio, tenga vinculaciones con las finalidades de la CCHEN, sin exigirse mayores cualificaciones académicas o profesionales.

Por otra parte, no se aprecian disposiciones respecto de los consejeros, el presidente del Consejo Directivo y el Director Ejecutivo relativos a su exclusividad en la dedicación.

En lo que se refiere a la remoción de los miembros del Consejo Directivo de la CCHEN, así como el presidente del Consejo, el actual mecanismo entrega su destitución a la confianza exclusiva del Presidente de la República. En el caso del Director Ejecutivo, la situación antedicha es análoga pero respecto del Consejo Directivo.

Sobre este particular, se observa una brecha entre la legislación nacional y los tratados, toda vez que la doctrina aconseja que el órgano regulador esté encabezado por líderes reconocidos por su máxima competencia, evitando los nombramientos políticos de cargos, de manera de no afectar la motivación del personal subordinado así como la confianza externa del organismo.

Asimismo, debe considerarse que la remoción por perder la confianza del Presidente de la República guarda algún grado de contradicción con causales de remoción preestablecidas, las cuales son una de las garantías de órganos o administraciones independientes.

4.3. Independencia orgánica del órgano regulador

La dictación de la Ley 20.402, que crea el Ministerio de Energía, entrega a esta Secretaria de Estado, competencia en el sector de energía, que comprende a todas las actividades de estudio, exploración, explotación, generación, transmisión, transporte, almacenamiento, distribución, consumo, uso eficiente, importación y exportación, y cualquiera otra que concierna a la electricidad, carbón, gas, petróleo y derivados, energía nuclear, geotérmica y solar, y demás fuentes energéticas (Art. 3º DL 2224/1978).

Pues bien, una eventual relación entre el Ministerio de Energía, el órgano regulador nuclear y una eventual participación del Estado en la propiedad de una instalación nuclear, puede resquebrajar la necesaria independencia y separación efectiva de funciones que permita adoptar criterios y decisiones sólidas, libres de interferencias por quienes tengan intereses en el desarrollo de la función nuclear. Similar situación puede producirse ante una eventual dependencia del regulador nuclear del Ministerio de Salud, en atención al importante uso de la energía nuclear con fines médico-sanitarios.

Como se ha dicho, no necesariamente es ineficaz un órgano regulador que se enmarque dentro de la estructura administrativa de otra organización, o sea supervisado por ésta, en tanto que en la práctica se le asignen competencias separadas e independientes de las de su supervisor.

4.4. Asignación de tareas que pueden interferir con el desarrollo de actividades de fiscalización

La actual regulación relativa a la CCHEN establece que éste órgano de la Administración tiene funciones tales como la promoción, fomento y realización de actividades relacionadas con la explotación y exploración de la energía nuclear (Art. 3, LCCHEN). Por otra parte, cumple con funciones de propiciar la enseñanza e investigación del uso de la energía nuclear con fines pacíficos, entre otros.

Como se puede apreciar de la simple lectura de las funciones atribuidas legalmente a la CCHEN, se han incluido potestades muy diversas, ajenas a las funciones de regulación, fiscalización, sanción, información y coordinación, que normalmente son aquellas que se observan en órganos reguladores del derecho comparado.

Pues bien, estas funciones ajenas a la regulación y fiscalización, ciertamente pueden interferir en las principales funciones de un órgano regulador, por lo que se debieran asignar a otros órganos de la Administración, en principio, distintos al regulador nuclear.

4.5. Competencia para dictar normativa en materia de regulación nuclear y participación del Estado como empresario en el ciclo nuclear.

Actualmente, los reglamentos en materia nuclear, los dicta el Presidente de la República, por intermedio del Ministerio de Energía, y a proposición de la CCHEN (Art. 10, b), LCCHEN). Este esquema puede presentar problemas a la hora de contar, a su vez, con una empresa con participación estatal en el ciclo nuclear, pues, bajo un mismo alero –el Ministerio de Energía- podría estar el órgano regulador nuclear, el órgano de fomento e investigación nuclear, una empresa con participación del Estado en el ciclo nuclear y/o el órgano que dicte los reglamentos o normas que regulan esa industria.

Lo anterior, puede afectar la debida fiscalización de la empresa con participación del Estado si los intereses superiores son similares. En el derecho comparado, se ha separado de la dependencia ministerial al regulador nuclear (en ministerios relacionados con la salud, por ejemplo) de una eventual empresa encargada de explotar u operar alguna etapa del ciclo nuclear si hay participación del Estado.

4.6. Asignación de funciones relativas a asesoría en materia de tratados con otros países en materia de energía nuclear.

Este punto se vincula con el anterior, en el sentido de que con arreglo al art. 3 de la LLCHEN, corresponde a la Comisión asesorar al gobierno en el estudio de tratados, acuerdos, convenios con otros países o con organismos internacionales, relacionados con la energía nuclear. La participación del Ministerio de Energía en la decisión relacionada con la suscripción de dichos convenios o tratados, podría dar lugar a posibles conflictos de interés en caso de optarse por crear una eventual empresa con participación del Estado – dependiente del referido Ministerio –encargada de explotar u operar alguna etapa del ciclo nuclear.

4.7. Brechas y deficiencias en cuanto a las potestades de coordinación e información.

En cuanto a la potestad o el rol coordinador que ejerce la CCHEN de acuerdo al art. 31 de la LSN, se observa cierta vaguedad en los términos empleados para requerir información o colaboración, de otros órganos de la administración del Estado, toda vez la CCHEN puede, a su arbitrio, colaborar o solicitar la colaboración de otras entidades públicas. A su vez, éstas pueden o no prestar dicha colaboración.

Asimismo, se aprecia la inexistencia de referencia al rol de coordinación que debe ejercer el regulador nuclear nacional en relación con organismos internacionales o con reguladores nucleares de otros Estados.

En lo que respecta a las potestades de información, se echa de menos una regulación expresa de supuestos en que el regulador nuclear nacional debe dar a conocer, no solo al Congreso, sino también a la opinión pública en general, hechos relevantes en materia de seguridad nuclear, en particular, accidentes nucleares [409]. Como se ha dicho, esto último es de especial importancia a la hora de legitimar al regulador nuclear frente a la comunidad.

[409] En este punto no es aconsejable el trámite de información pública, en la medida en que el supuesto en análisis no queda comprendido en el ámbito de aplicación de la Ley N° 19.880. De todas formas, el trámite referido es una facultad y no un imperativo, por lo que es insuficiente para enfrentar situaciones como los accidentes nucleares. Paralelamente, tampoco son útiles en este tipo de hipótesis las facultades fiscalizadoras de la Cámara de Diputados. Como señala el artículo 52 de la Constitución Política de la República, las facultades fiscalizadoras se reducen a los 'actos de gobierno'; lo que conlleva su inaplicabilidad al tipo de casos en comento. Finalmente, tampoco resulta satisfactoria la invocación de la Ley N° 20.285. Esto se fundamenta en que los hechos relevantes en materia de seguridad nuclear no quedan comprendidos dentro de la enumeración del artículo 7° relativo a la transparecncia activa.

Ahora bien, la revisión de las potestades con que dispone el Ministerio de Energía, que se analizan infra, permiten apreciar que esta deficiencia podría ser salvada por dicha vía.

4.8. Financiamiento del regulador

Con arreglo al art. 4 de la LCCHEN, el patrimonio de la CCHEN se forma principalmente por los aportes que le concede anualmente la Ley de Presupuestos de la Nación. Además, de acuerdo a las sugerencias de la OIEA, el presupuesto del regulador no debería ser objeto de revisión y aprobación de los organismos del gobierno encargados de la explotación o promoción del desarrollo de tecnologías nucleares.

En consecuencia, en el eventual escenario de creación de una empresa con participación del Estado encargada de explotar u operar alguna etapa del ciclo de vida nuclear – vinculada de una u otra forma al Ministerio de Energía – la intervención de dicho Ministerio en la determinación del presupuesto del regulador implicaría un alejamiento de los lineamientos establecidos por las organizaciones internacionales competentes en materia nuclear y podría poner en riesgo la labor del regulador.

5. Relaciones administrativas de la institución reguladora nuclear con la institución reguladora eléctrica, bajo diversos escenarios de autonomía e independencia

5.1. El regulador eléctrico, el regulador nuclear y la competencia en mercados eléctricos

Los mercados eléctricos son regulados y fiscalizados por autoridades o administraciones especializadas en ese sector, en particular, o en el sector energía, en general.

El personal asociado a un regulador eléctrico o de la energía cuenta con experticia en materia de regulación económica, liberalización de mercados y confiabilidad de los sistemas eléctricos, mientras que un regulador nuclear tiene una natural tendencia a preocuparse en tópicos de seguridad de las instalaciones nucleares, más asociado al riesgo. Lo anterior puede tener consecuencias o efectos en la interacción de dichos órganos.

En el sector eléctrico, en las últimas décadas se ha desarrollado una tendencia creciente a favorecer autoridades independientes respecto de este sector, respecto de la cual se separan las funciones de regulación o supervisión y las empresas gestoras. Estas autoridades se encargan de la supervisión y del buen funcionamiento del

mercado, aunque con diferencias respecto de las labores normativas.[410] Con lo anterior, se busca una imparcialidad e independencia de las empresas con el regulador. Sus potestades ya han sido desarrolladas en este informe, precedentemente.

Por otra parte, en la relación entre reguladores eléctricos y reguladores nucleares, debe tenerse en cuenta el desarrollo de los mercados eléctricos en las últimas décadas. Así, múltiples países han eliminado regulaciones innecesarias en los mercados eléctricos (liberalización), otrora dominados por empresas públicas, pasando a la privatización de empresas públicas encargadas de la producción, transmisión y/o distribución eléctrica, así como la desintegración vertical de sistemas y empresas eléctricas.[411] A lo anterior, podemos agregar, además, la introducción de competencia a nivel de comercialización de la energía eléctrica y el establecimiento de mecanismos de licitaciones de contratos de corto y/o largo plazo o de mercados que incorporan esquemas análogos a los de mercados financieros. Por lo anterior, la generación núcleo-eléctrica pasa a someterse a las reglas de los mercados mayoristas eléctricos, incluida su participación o representación en el operador del sistema eléctrico,[412] aunque con posibles acuerdos especiales motivados por situaciones de privatización (Escocia).

Se afirma que las relaciones entre el regulador nuclear y el regulador eléctrico no debieran variar por efecto de la privatización y liberalización del sector eléctrico de un país, salvo una mayor racionalización en los procesos regulatorios entre ambos órganos de la Administración.[413]

Dicha afirmación debe morigerarse, toda vez que, al fomentarse la competencia en los mercados eléctricos (objetivo de las últimas décadas en la mayor parte de los países), es esperable una mayor presión que busque relajar posibles exigencias de seguridad de centrales nucleares. Así, mientras el regulador de la seguridad nuclear es indiferente o neutral respecto de la competencia en mercados eléctricos –a diferencia del regulador eléctrico- aquel debe tener en cuenta que pueden surgir posibles conflictos por exigencias de seguridad. En efecto, en aquellos países donde había centrales núcleo-eléctricas y se ha incorporado competencia, se ha observado una tendencia de este tipo. En dicho sentido, el regulador nuclear debiera ser explícito en

[410] Hernández Juan Carlos, *Regulación y competencia en el sector eléctrico*, Thomson Aranzadi, 2005, p. 137 y ss.
[411] STUK, *op.cit.,* p. 39
[412] Art. 4, Decreto 1540/1994 (Argentina)
[413] Coopers & Lybrand, "Institutional framework", Working Paper N° 5, 1997. Disponible en: http://www.eletrobras.gov.br/downloads/EM_Atuacao/relatorio_ing/Stage%20II%20and%20III/Working%20Papers%20C/WPC5.pdf Visitado el 27 de noviembre de 2009.

no morigerar exigencias de seguridad motivadas por presiones competitivas.[414] Por cierto, lo anterior no obsta a que se deba reconocer los beneficios que trae aparejada la competencia respecto de cualquier operador eléctrico.

5.2. Relaciones entre el órgano regulador eléctrico y el regulador nuclear.

A continuación desarrollamos las relaciones entre el regulador nuclear y el regulador de la energía.

5.2.1. Coordinación general del regulador nuclear con el regulador eléctrico

Las relaciones entre órganos reguladores de la energía eléctrica y de la regulación nuclear deben partir de una base de lealtad institucional y coordinación inter-administrativa.[415] Lo anterior implica que ambos órganos: (a) respeten sus respectivas competencias legales; (b) ponderen, al ejercer sus propias competencias, todos los intereses públicos implicados, incluidos aquellos encomendados a otros órganos de la Administración, (c) faciliten a otros órganos de la Administración del Estado la información necesaria para cumplir sus propias competencias y (d) cooperen activamente con otros órganos de la Administración para el eficaz ejercicio de sus competencias. Con lo anterior, lo que se persigue es evitar conflictos regulatorios que puedan tener un alcance o dimensión eléctrica, estableciéndose plazos de respuesta razonables en las comunicaciones entre ambos órganos.

La coordinación y lealtad institucional exigen que se determinen y delimiten de la mejor forma posible las competencias de los reguladores involucrados, ora de la energía ora nucleares. Así, por ejemplo, dependiendo de cuál sea el órgano que se encargue del licenciamiento del uso del combustible nuclear y aspectos ambientales relacionados, y de los aspectos de licenciamiento de la central de generación nuclear de potencia surge como necesidad aumentar la coordinación entre el regulador eléctrico y el regulador nuclear. [416]

Para la implementación de esta coordinación inter-administrativa se puede adoptar una norma de carácter legal, como normalmente son leyes sobre la administración pública (España)[417] o bien acuerdos o convenciones entre órganos reguladores que regulan y coordinan su actuación conjunta. Este último es el caso norteamericano de

[414] Organisation for Economic Co-operation and Development, *Nuclear Regulatory Challenges Arising form Competition in Electricity Markets*, 2001, p. 9
[415] Antonio Morales Plaza, *La regulación nuclear globalizada*, Ed. La Ley, Madrid, 2009, p. 430
[416] Coopers & Lybrand, "The organisation of ANEEL", Working Paper N° 2, 1997, p. 29 Disponible en: http://www.eletrobras.gov.br/downloads/EM_Atuacao/relatorio_ing/Stage%20II%20and%20III/Working%20Papers%20C/WPC2.pdf Visitado el 27 de noviembre de 2009.
[417] Por ejemplo, Art., 4, Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común

nivel federal, en el cual se ha adoptado un memorando de entendimiento (*memorandum of agreement,* "MOA") entre la Nuclear Regulatory Commission (NRC) y la Federal Energy Regulatory Commission (FERC),[418] o el caso inglés, también a través de este tipo de acuerdo, entre la OFGEM (regulador de la energía) y la HSE (regulador de la salud).[419]

5.2.2. Coordinación de información durante emergencias

Una materia importante de coordinación entre reguladores, adicional a la coordinación general, es aquella que debe producirse durante emergencias que puedan afectar a centrales núcleo-eléctricas.

Ante situaciones de emergencia que puedan afectar la red eléctrica, la información sobre el estado de la red resulta de importancia a la hora de la toma de decisiones por *stakeholders*.

Por lo anterior, se estima procedente desarrollar protocolos para compartir información ante emergencias, así como su prueba periódica. En tal sentido, se establecen canales de comunicación entre el regulador eléctrico y la autoridad nuclear, precisándose incluso el número de teléfonos a comunicarse entre ambos órganos en situaciones de emergencia.[420]

Lo anterior dice también relación con acuerdos especiales relativos a apagones y aspectos asociados a estos con problemas de líneas de transmisión cercanas a centrales núcleo-eléctricas.[421]

5.2.3. Coordinación entre el regulador eléctrico y el regulador nuclear por mantenimientos preventivos o programados de centrales núcleo-eléctricas

Así como es importante la coordinación entre reguladores en situaciones de emergencia, una coordinación análoga es relevante en materia de mantenimientos programados de centrales generadoras de energía nuclear de potencia.

---

[418] Memorandum of Agreement between the U.S. Nuclear Regulatory Commission and the Federal Energy Regulatory Commission, 2009

[419] Memorandum of Understanding between the Gas and Electricity Markets Authority, the Health and Safety Commission and the Health and Safety Executive, 2001

[420] Memorandum of Agreement between the U.S. Nuclear Regulatory Commission and the Federal Energy Regulatory Commission, 2009; Memorandum of Understanding between the Gas and Electricity Markets Authority, the Health and Safety Commission and the Health and Safety Executive, 2001

[421] Leppard Mike, *Health and Safety Commission. An Overview of HSE's Relationship with the Office of the Gas and Electricity Markets (OFGEM),* 2003, p. 5

De este modo, destacamos que en Finlandia el operador de una central generadora deba notificar al regulador eléctrico con una antelación de seis meses del suceso de mantenimiento programado, con una posibilidad de revisión. El regulador eléctrico debe consultar a la Autoridad de Seguridad Nuclear (STUK), antes de tomar la decisión de reprogramación, si la interrupción de la revisión se refiere a una planta de energía nuclear.[422]

5.2.4. Potestad consultiva y de participación del regulador nuclear en consejos consultivos del regulador de la energía

Otro tipo de relación entre órganos reguladores de la energía y reguladores nucleares pasa por la participación de miembros del regulador nuclear en consejos de carácter consultivo del regulador de la energía. Ese es el caso de la participación del regulador nuclear español (Consejo de Seguridad Nuclear) en el Consejo Consultivo de la Electricidad de la CNE de dicho país.[423]

En este sentido, esta consulta implica informar respecto de las actuaciones que realice la Comisión Nacional de Energía en el ejercicio de sus funciones en materias de (a) participación, mediante propuesta o informe, en el proceso de elaboración de disposiciones generales que afecten a los mercados energéticos, y en particular, en el desarrollo reglamentario de la legislación eléctrica; (b) participar, mediante propuesta o informe, en el proceso de planificación energética; y (c) participar, mediante propuesta o informe, en el proceso de elaboración de los proyectos sobre determinación de tarifas, peajes y retribución de las actividades energéticas.

5.2.5. Participación del regulador nuclear en aspectos sobre concentración empresarial del sector eléctrico.

Atendida la creciente concentración empresarial entre empresas del sector energía, incluso de carácter trasnacional, se aprecia una nueva relación entre el órgano regulador de la energía y el regulador nuclear, motivado en supuestas insuficiencias de la regulación sectorial de competencia y energía, al afectarse eventualmente intereses generales de política energética de cada país y seguridad pública.

Lo anterior ocurre en países donde el regulador eléctrico tiene atribuciones en materia de operaciones de concentración del sector energía, como es el caso de España, en el cual se establecen como activos estratégicos del suministro eléctrico, entre otros, las centrales térmicas nucleares, atendida su rol en la garantía y seguridad

[422] Sección 36 A - Revisión de los cortes de las plantas de energía, Ley del Mercado Eléctrico (Finlandia)
[423] Cfr. Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector Hidrocarburos, Disposición Adicional Undécima (España)

de suministro.[424] Esta preocupación se origina en el control y seguridad más estrictos que tienen las instalaciones nucleares respecto de los demás activos energéticos.

5.2.6. Participación del regulador nuclear en actividades relacionadas con acciones relativas a la red de transmisión eléctrica

Otro aspecto en el cual resulta procedente la coordinación entre reguladores dice relación con el monitoreo y control entre ambos de situaciones o condiciones de de operación normales, de alerta y emergencia del sistema eléctrico. Lo anterior puede implicar una participación de los órganos reguladores en actividades relativas a los sistemas eléctricos ya sea actuales, planificadas o futuras.[425]

Así, en el último tiempo, entre la FERC y la NRC existe intercambio de opiniones por materias de confiabilidad de la red eléctrica y las centrales nucleares, planificación de nuevos reactores y problemas de ciber-seguridad, por constituir la infraestructura nuclear una crítica para la seguridad nacional.[426]

5.2.7. Potestad informativa del regulador nuclear en transferencias de concesiones o autorizaciones otorgadas por el regulador eléctrico

El regulador nuclear cumple también un rol respecto de autorizaciones que otorgue el regulador eléctrico sobre centrales nucleares, así como el transporte de sustancias nucleares o radiactivas.

En esta función informadora, el derecho comparado otorga un carácter vinculante o preceptivo a dichos informes del regulador sectorial de la energía atómica, especialmente cuando tienen un carácter denegatorio o negativo de una concesión, o bien, de las condiciones que impongan, cuando sean favorables (España, República Checa).[427]

[424] Real Decreto-Ley 4/2006, de 24 de febrero, por la que se modifican las funciones de la CNE (España)
[425] Memorandum of Agreement between the U.S. Nuclear Regulatory Commission and the Federal Energy Regulatory Commission, 2009
[426] Federal Energy Regulatory Commission "FERC, NREC Commissioners to Discuss Grid Reliability April 8 in Washington D.C.", R-08-12, 2008. La antedicha coordinación se ha visto potenciada por los black-outs de 2003, que afectaron a 50 millones de personas y causaron que nueve reactores nucleares ubicados en los Estados Unidos tuvieran que apagarse.
[427] Ley 15/1980 (España), Act on Business Conditions and Public Administration in the Energy Sectors and on Amendment to Other Laws ("Energy Act"), Sección 5, N° 10 (República Checa)

6. Análisis de las potestades y organización de los órganos de regulación de la energía en Chile

En los siguientes párrafos, describimos los órganos encargados de la regulación de la energía en Chile, analizándolos a la luz de las potestades enunciadas previamente para analizar los órganos reguladores.

En la presente sección revisaremos las potestades del Ministerio de Energía, la Comisión Nacional de Energía ("CNE"), la Superintendencia de Electricidad y Combustibles ("SEC") y de los Centros de Despacho Económico de Carga ("CDEC").

Atendido el hecho que la presente consultoría se aboca esencialmente en tópicos de regulación nuclear, y en la presente sección, en la regulación y fiscalización del órgano regulador nuclear, hemos incorporado los siguientes párrafos, analizando al final posibles vacios y contradicciones con el derecho comparado.

6.1. El Ministerio de Energía

Con fecha 3 de Diciembre del año 2009, fue publicada, la Ley N° 20.402 que crea el Ministerio de Energía y modifica sustancialmente las potestades ejercidas con anterioridad por una serie de órganos que poseían competencias en materia energética, constituyéndose hoy en el principal órgano regulador de la actividad energética nacional.

De acuerdo al artículo 1° de la Ley N° 20.402, el Ministerio de Energía es el órgano superior de colaboración del Presidente de la República en las funciones de gobierno y administración del sector energía. La descripción y funciones orgánicas del Ministerio de Energía se encuentran en el Decreto Ley N° 2224/1978, que crea la Comisión Nacional de Energía. Sin perjuicio de sus funciones allí descritas, de acuerdo a la Ley 20.402, las referencias al Ministerio de Minería que hace la Ley CCHEN, deben entenderse efectuadas al Ministerio de Energía. Idéntica situación ocurre respecto de las referencias al mencionado Ministerio hechas en la LSN. De la misma forma, las referencias al Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción en las leyes N° 18.410 (Ley de la SEC) y la LGSE, deben entenderse hechas al Ministerio de Energía.

De acuerdo al artículo 2° del DL 2224, corresponde al Ministerio de Energía, elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector energía, velar por su cumplimiento y asesorar al Gobierno en todas aquellas materias relacionadas con la energía. El sector energía incluye, de acuerdo al art. 3° del DL 2224, todas las actividades de estudio, exploración, explotación, generación, transmisión, transporte, almacenamiento, distribución, consumo, uso eficiente, importación y exportación, y cualquiera otra que concierna a la electricidad, carbón,

gas, petróleo y derivados, energía nuclear, geotérmica y solar, y demás fuentes energéticas. Por otra parte, se relacionan con el Presidente de la República, por intermedio del Ministerio de Energía, la CNE, la CCHEN y la SEC.

El Ministerio de Energía tiene importantes funciones en materia de política energética, como da cuenta su reciente ley, correspondiéndole, entre otros:

- Preparar, dentro del marco del plan nacional de desarrollo, los planes y políticas para el sector energía y proponerlos al Presidente de la República para su aprobación;

- Estudiar y preparar las proyecciones de la demanda y oferta nacional de energía que deriven de la revisión periódica de los planes y políticas del sector;

6.1.1. Potestades autorizatorias

En materia autorizatoria, de acuerdo al artículo 4°, literal j) del DL 2224, corresponde al Ministerio de Energía suscribir en representación del Estado, con los requisitos y bajo las condiciones que el Presidente de la República fije por decreto supremo, los contratos especiales de operación relativos materiales atómicos naturales a que se refiere el inciso 10° del número 24° del artículo 19 de la CPR.

Adicionalmente, y de acuerdo a la misma norma del DL 2224, corresponde al Ministerio de Energía ejercer, directamente o por intermedio de un organismo o empresa del Estado, funciones y derechos que el decreto supremo y el correspondiente contrato especial de operación antes mencionado le señalen; y celebrar, en representación del Estado, y previo informe favorable del organismo correspondiente, contratos de servicio que tengan por objeto la ejecución de determinados trabajos relacionados con la exploración de materiales atómicos naturales. Si se trata de la suscripción de contratos especiales de operación relativos a materiales atómicos naturales, es necesario, además, el informe previo favorable del Consejo de la CCHEN.

En idéntico sentido, y dentro de estas funciones en materia de contratos especiales de operación de materiales atómicos naturales, el Ministerio de Energía debe proponer al Presidente de la República y evaluar las políticas, planes y normas relativas a los contratos especiales de operación respecto a materiales atómicos naturales (art. 4, f), DL 2224/78).

Como prevención, debemos señalar que las normas transcritas, incluidas en la reciente Ley 20.402, no se condicen con las normas de la Ley Orgánica Constitucional

sobre Concesiones Mineras y el Código de Minería, respecto de las sustancias concesibles. Esta materia ha sido tratada precedentemente, en la sección sobre propiedad.

6.1.2. Potestades reguladoras o normativas

Dentro de las potestades normativas, tiene dentro de su competencia el Ministerio de Energía el deber de elaborar, coordinar, proponer y dictar, según corresponda, las normas aplicables al sector energía que sean necesarias para el cumplimiento de los planes y políticas energéticas de carácter general así como para la eficiencia energética, la seguridad y adecuado funcionamiento y desarrollo del sistema en su conjunto (art. 4, d), DL 2224/78).

6.1.3. Potestades fiscalizadoras

El Ministerio de Energía -así como la CNE, en iguales términos- cuenta con una potestad inspectora respecto de las empresas del sector energía, como da cuenta el artículo 12 del DL 2224/1978, que a continuación se transcribe:

> *"Asimismo, podrán requerir la información que fuere necesaria para el ejercicio de sus funciones a las entidades y empresas del sector energía y a los usuarios no sujetos a regulación de precios a los que se refiere el decreto con fuerza de ley No 4, del año 2007, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, sobre Ley General de Servicios Eléctricos, en la medida que no perjudique las funciones propias de las entidades, empresas y usuarios señalados. Las entidades o empresas requeridas en uso de la facultad señalada precedentemente, sólo podrán exceptuarse de entregar la información solicitada, invocando una norma legal vigente sobre secreto. El incumplimiento del requerimiento de información o de la obligación de proporcionarla sin mediar aquél, así como la entrega de información falsa, incompleta o manifiestamente errónea, serán sancionados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, de acuerdo a las normas establecidas en la ley No 18.410. (...)"*

En dicho sentido, y complementando lo anterior, el Ministerio de Energía dispone en el inciso 1° del artículo 12 en comento de una potestad para requerir información de "entidades en que el Estado tenga aportes de capital, participación o representación".

6.1.4. Potestades sancionatorias

El Ministerio de Energía no tiene funciones sancionatorias.

6.1.5. Potestades de coordinación

A este respecto, al Ministerio de Energía le corresponde cumplir las funciones y tareas que las leyes o el Gobierno le encomienden concernientes a la buena marcha y desarrollo del sector energía (art. 4, k), DL 2224/78). Asimismo, de acuerdo al artículo 5° del DL 2224, el Subsecretario de Energía, como jefe superior del Servicio, le corresponde la acción coordinada de los servicios públicos del sector.

Adicionalmente, en lo concerniente a coordinación, el Ministerio de Energía debe velar por el efectivo cumplimiento de las normas sectoriales, sin perjuicio de las atribuciones que correspondan a los organismos en ella mencionados, a los que debe impartir instrucciones, pudiendo delegar las atribuciones y celebrar con ellos los convenios que sean necesarios (Art. 4, e), DL 2224).

Por otra parte, y atendido su rol normativo, el Ministerio de Energía puede requerir la colaboración de las instituciones y organismos que tengan competencia normativa, de fiscalización o ejecución en materias relacionadas con la energía, con la finalidad de elaborar, coordinar, proponer y dictar normativa sectorial, cuál sería el caso de aquella aplicable en materia núcleo-eléctrica (art. 4, d), DL 2224/78).

Finalmente, el Ministerio de Energía cuenta con una potestad para requerir información de otros órganos de la Administración -incluidas las empresas públicas y dónde el Estado tenga información, lo que consta en el artículo 12 del DL 2224:

> *"En el cumplimiento de sus funciones, y para el ejercicio de éstas, tanto el Ministerio de Energía como la Comisión Nacional de Energía podrán requerir de los Ministerios, Servicios Públicos y entidades en que el Estado tenga aportes de capital, participación o representación, los antecedentes y la información necesarios para el cumplimiento de sus funciones, quedando los funcionarios que dispongan de dichos antecedentes e informaciones, obligados a proporcionarlos en el más breve plazo. El incumplimiento de esta obligación podrá ser administrativamente sancionado, en caso de negligencia, por la Contraloría General de la República, en conformidad a las reglas generales."*

6.2. La Comisión Nacional de Energía (CNE)

De acuerdo a lo establecido en el artículo 6º del Decreto Ley N° 2.224, la CNE es una persona jurídica de derecho público, funcionalmente descentralizada, con patrimonio

propio y plena capacidad para adquirir y ejercer derechos y contraer obligaciones, que se relacionará con el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de Energía.

La Comisión es un organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica.

Asimismo, corresponde a la CNE:

a) Analizar técnicamente la estructura y nivel de los precios y tarifas de bienes y servicios energéticos, en los casos y forma que establece la ley.

b) Fijar las normas técnicas y de calidad indispensables para el funcionamiento y la operación de las instalaciones energéticas, en los casos que señala la ley.

c) Monitorear y proyectar el funcionamiento actual y esperado del sector energético, y proponer al Ministerio de Energía las normas legales y reglamentarias que se requieran, en las materias de su competencia.

d) Asesorar al Gobierno, por intermedio del Ministerio de Energía, en todas aquellas materias vinculadas al sector energético para su mejor desarrollo.

6.2.1. Potestades reguladoras o normativas

En esta materia, la CNE, de acuerdo al artículo 7°, b) del DL 2224, puede fijar normas técnicas y de calidad para el funcionamiento y operación de las instalaciones energéticas en los casos que señala la ley.

6.2.2. Potestades fiscalizadoras

Sobre este particular, la CNE dispone de idéntica potestad inspectora de la que dispone el Ministerio de Energía, para requerir información, como lo establece el artículo 12 del DL 2224.

6.3. La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)

Finalmente, cumple un papel fundamental en materia regulatoria sectorial la Superintendencia de Electricidad de Combustibles (SEC), la cual constituye un servicio funcionalmente descentralizado, que se relacionará con el Gobierno por intermedio del Ministerio de Energía.

El objeto de la SEC es fiscalizar y supervigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias, y normas técnicas sobre generación, producción, almacenamiento, transporte y distribución de combustibles líquidos, gas y electricidad, para verificar que la calidad de los servicios que se presten a los usuarios sea la señalada en dichas disposiciones y normas técnicas, y que las antes citadas operaciones y el uso de los recursos energéticos no constituyan peligro para las personas o cosas.

6.3.1. Potestades autorizatorias

La SEC cuenta con competencias para Conocer, mediante una comunicación previa, la puesta en servicio de las obras de generación, producción, almacenamiento, transporte y distribución de energía eléctrica (Art. 3, N° 8, LSEC).

6.3.2. Potestades reguladoras o normativas

Esta Autoridad Administrativa Fiscalizadora puede resolver, oyendo a los afectados, reclamos que se formulen por, entre o en contra de particulares, consumidores y propietarios de instalaciones eléctricas, de gas y de combustibles líquidos, en general, y que se refieran a cualquier cuestión derivada de los cuerpos legales o reglamentarios cuyo cumplimiento le corresponde fiscalizar (Art. 3, N° 17, LSEC).

A lo anterior se agrega que la SEC puede, de acuerdo a su Estatuto, aplicar e interpretar administrativamente las disposiciones legales y reglamentarias cuyo cumplimiento le corresponde vigilar, e impartir instrucciones de carácter general a las empresas y entidades sujetas a su fiscalización (Art. 3°, N° 34, LSEC).

6.3.4. Potestades fiscalizadoras

La SEC es la autoridad sectorial encargada de la fiscalización del sector energía. Para dicha finalidad, cuenta con poderosas competencias.

Adicionalmente, la SEC puede sancionar el incumplimiento de las normas técnicas y reglamentarias vigente o que se establezcan en virtud de la legislación eléctrica, de gas de combustibles líquidos relativas a la instalaciones correspondientes, con desconexión de éstas, multas o ambas medidas (Art. 3, N° 23, LSEC).

La SEC está facultada para autorizar a laboratorios o entidades de control de seguridad y calidad para que realicen o hagan realizar bajo su exclusiva responsabilidad las pruebas y ensayos que dicha Superintendencia estime necesarios, con el objeto de otorgar un certificado de aprobación a las máquinas, instrumentos,

equipos y materiales eléctricos, de gas y de combustibles líquidos que cumplan con las especificaciones normales y no constituyan peligro para las personas o cosas (Art. 3, N° 14, LSEC).

Seguidamente, la Superintendencia cuenta con potestades de inspección que la habilitan legalmente para la fiscalización del cumplimiento de las normas vigentes en las instalaciones eléctricas, pudiendo la Superintendencia autorizar a laboratorios, entidades o instaladores, para que efectúen inspección de las mismas y realicen o hagan realizar, bajo su exclusiva responsabilidad, las pruebas y ensayos que dicho organismo estime necesarios, para constatar que cumplen con las especificaciones normales y no constituyen peligro para las personas o cosas (Art. 3, N° 23, LSEC).

A lo anterior se agrega que la SEC puede, de acuerdo a su ley orgánica, fiscalizar el cumplimiento de los requisitos de seguridad para las personas y bienes, en las instalaciones destinadas al almacenamiento, refinación, transporte y expendio de recursos energéticos, cualquiera sea su origen y destino, conforme se establezca en los reglamentos respectivos y en las normas técnicas complementarias (Art. 3, N° 24, LSEC) y verificar que las características de los recursos energéticos cumplan con las normas técnica y no constituyan peligro para las personal o cosas (Art. 3°, N° 25, LSEC).

Por otra parte, la SEC puede solicitar auditorías para comprobar la veracidad y exactitud de las informaciones que le hayan proporcionado sujetos fiscalizados (Art. 3 B, LSEC) y puede r requerir, a las personas y empresas sometidas a su fiscalización y a las relacionadas que mantienen transacciones con aquéllas, la información que fuere necesaria para el ejercicio de sus funciones (Art. 3 A, LSEC). El incumplimiento del requerimiento de información o de la obligación de proporcionarla sin mediar aquél, así como la entrega de información falsa, incompleta o manifiestamente errónea, son sancionados en conformidad a dicha ley.

Finalmente, en este respecto, la SEC puede, en los casos en que se obstaculizare o impidiere el pleno ejercicio de las atribuciones otorgadas a ella para la protección y seguridad de las personas, o para evitar un grave daño a la población, solicitar, por razones fundadas, directamente del Intendente que corresponda, el auxilio de la fuerza pública, con facultades de allanamiento y descerrajamiento, si fuere necesario (Art. 3, LSEC).

6.3.5. Potestades sancionatorias

Al conocer de un reclamo, puede la SEC, en las resoluciones que dicte podrá aplicar multas u otras sanciones, conforme lo autoriza la LSEC. Incluso, si no hay reclamos, cuando Superintendencia compruebe infracciones de las normas cuyo cumplimiento

le corresponda fiscalizar, podrá aplicar a los infractores las sanciones referidas. (Art. 3, N° 17, LSEC).

Finalmente, la SEC puede, respecto de las empresas, entidades o personas naturales, sujetas a la fiscalización o supervisión, que incurrieren en infracciones de la leyes, reglamentos y demás normas relacionadas con electricidad, o en incumplimiento de las instrucciones y órdenes que les imparta la Superintendencia, objeto de la aplicación por ésta de las sanciones que se indican en la LSEC, sin perjuicio de las establecidas específicamente en otros cuerpos legales. Las sanciones que se pueden imponer son las de (a) Amonestación por escrito; (b) multa de una unidad tributaria mensual a diez mil unidades tributarias anuales; (c) revocación de autorización o licencia; (d) comiso; (e) clausura temporal o definitiva; y (f) caducidad de la concesión provisional. (Art. 15 y 16, LSEC).

6.3.6. Potestades de información

De acuerdo a la Ley 18.410, la SEC debe fijar normas de carácter general sobre la forma y modo de presentación de la información que las entidades sujetas a su fiscalización deban proporcionarle, de conformidad a las leyes y reglamentos vigentes (art. 3, N° 37, LSEC).

6.3.7. Potestades de ejecución

La Superintendencia dispone de la potestad de adoptar, transitoriamente, las medidas que estime necesarias para la seguridad del público y el resguardo del derecho de los concesionarios y consumidores de energía eléctrica, pudiendo requerir de la autoridad administrativa, el auxilio de la fuerza pública para el cumplimiento de sus resoluciones (Art. 3°, N° 22, LSEC).

Adicionalmente, la SEC puede adoptar las medidas tendientes a corregir las deficiencias que observare, con relación al cumplimiento de las leyes, reglamentos y demás normas cuya supervigilancia le corresponde (Art. 3°, N° 36, LSEC).

6.4. Los Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC)

La LGSE establece la obligación de que cada sistema eléctrico posea un organismo encargado de determinar la operación del conjunto de las instalaciones de un sistema eléctrico. Dichos organismos son los llamados Centros de Despacho Económico de Carga, y dentro de nuestro sistema existen dos: el CDEC correspondiente al SIC y el CDEC correspondiente al SING.

Cada CDEC cuenta con un Directorio que se encuentra compuesto por representantes de las empresas generadoras y transmisoras troncales y de subtransmisión y por un representante de los clientes libres del respectivo sistema. El financiamiento de cada CDEC es de cargo de sus integrantes, debiendo su presupuesto anual ser informado a la CNE de forma previa a su ejecución.

Asimismo, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 3º del Decreto Supremo 291/2007 del Ministerio de Economía, que aprueba el Reglamento que establece la estructura, funcionamiento y financiamiento de los centros de despacho económico de carga, todo propietario, arrendatario, usufructuario o quien explote, a cualquier título, centrales generadoras, líneas de transporte, instalaciones de distribución y demás instalaciones que se interconecten al sistema, estarán obligados a sujetarse a las instrucciones, procedimientos y mecanismos de coordinación del sistema que emanen, dentro de sus respectivas atribuciones, de los organismos técnicos necesarios de cada CDEC.

En particular, cada CDEC posee como funciones las siguientes:

a) Preservar la seguridad global del sistema eléctrico;

b) Garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema eléctrico;

c) Garantizar el acceso abierto a los sistemas de transmisión troncal y de subtransmisión;

d) Garantizar el acceso abierto a los sistemas de transmisión adicionales;

e) Determinar las transferencias económicas entre los integrantes del CDEC, y

f) Elaborar los estudios e informes requeridos por la CNE, la SEC o el Ministerio de Energía, dentro de la esfera de sus respectivas atribuciones, y las demás que establece la normativa vigente.

7. Identificación de vacíos y contradicciones normativas respecto de los órganos de regulación de la electricidad en Chile

A este respecto, en el derecho comparado se observan relaciones formales entre el órgano regulador nuclear con el regulador eléctrico, como se señaló en el Capítulo 5

7.1. Coordinación general

Ahora bien, no obstante la existencia de normas en el ordenamiento nacional relativas a la coordinación interadministrativa –principio de coordinación- (LOCBGAE, Art. 5), que disponen que "[l]os órganos de la Administración del Estado deberán cumplir sus cometidos coordinadamente y propender a la unidad de acción, evitando la duplicación o interferencia defunciones". Además, el destacar que la función de coordinación es de responsabilidad de las autoridades y jefaturas de cada órgano o servicio. En efecto, el art. 3.2 LOCBGAE deja en claro que la coordinación establece una base fundamental sobre la cual debe procederse al actuar en materia de gestión pública. Así, también lo hace ver el art. 24 LOCBGAE, que encomienda a los Subsecretarios Ministeriales el deber de "coordinar la acción de los órganos y servicios públicos del sector".

Pues bien, normas análogas encontramos en materia energética, como son aquellas disposiciones sobre coordinación entre el Ministerio de Energía, la CCHEN, la CNE y la SEC. En dicho sentido, en esta materia no se observa un vacío normativo.

7.2. Coordinación de información durante emergencias

De la revisión del derecho comparado, se aprecia que no se han establecido canales de información fluidos entre reguladores eléctricos y reguladores nucleares. Lo anterior resulta evidente, toda vez que en la actualidad no existen centrales núcleo-eléctricas conectadas a un sistema eléctrico nacional.

7.3. Coordinación por mantenimientos programados

Sobre este particular, la eventual conexión de una central núcleo-eléctrica a un sistema eléctrico debe motivar la adecuada coordinación con el CDEC respectivo. Actualmente no existen disposiciones sobre la materia, que incluso consideren el veto del órgano regulador nuclear por posibles situaciones de seguridad.

7.4. Potestad consultiva e informativa del órgano regulador nuclear en materias normativas o transferencias de autorizaciones

Otra cuestión que se echa de menos, tras el cotejo de la regulación comparada con la legislación nacional, es la presencia activa y permanente del órgano regulador nuclear en materias relacionadas con la energía eléctrica.

8. Análisis de las potestades y organización de los órganos de la administración del Estado con competencia en materia de energía núcleo-eléctrica, distinta a los del órgano regulador nuclear y a los órganos de regulación de la energía

En los siguientes párrafos, describimos los órganos de la Administración del Estado con competencia en materia núcleo-eléctrica, distintos a los de regulación de la energía en Chile (incluida la regulación nuclear), analizándolos a la luz de las potestades enunciadas previamente para analizar los órganos reguladores.

8.1. Servicio Nacional de Geología y Minería

De acuerdo al artículo 1 y siguientes del decreto ley 3.525 que crea el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), este organismo es el encargado de producir y proveer información y productos geológicos, ejercer la función pública de fiscalización de las condiciones de seguridad minera y medioambiente en la minería y entregar asistencia técnica en materias de constitución de la propiedad minera, con el fin de satisfacer las demandas de las instituciones del Estado, de las empresas públicas y privadas, y de las personas que participan en el sector minero y en el quehacer geológico.

En lo que se refiere a la etapa de producción de combustible nuclear principalmente en el proceso de extracción minera y de enriquecimiento, este Servicio detenta facultades de fiscalización, regulación y de sanción. A continuación, analizaremos cada una de ellas.

8.1.1. Potestades fiscalizadoras

Conforme al decreto N° 132 del Ministerio de Minería que aprueba el reglamento de Seguridad Minera, el SERNAGEOMIN debe asumir labores de fiscalización en lo que se refiere a las faenas de extracción del mineral idóneo para la actividad nuclear y en el procesamiento y enriquecimiento de estos materiales.

El artículo 13° del Reglamento señala que al SERNAGEOMIN le compete controlar y fiscalizar el cumplimiento de las normas y exigencias establecidas por este Reglamento y de aquellas que dicte este mismo Servicio. Asimismo, el artículo 16° del mismo Reglamento prescribe que el Servicio tiene la facultad inspeccionar y evaluar las condiciones de funcionamiento de la totalidad de las instalaciones que formen parte de las faenas mineras. Incluso, de acuerdo al artículo 63 del mismo reglamento, las empresas deben cumplir con las normas sanitarias vigentes. Por tanto, el

SERNAGEOMIN tiene facultades para fiscalizar el cumplimiento de la normativa sanitaria, de acuerdo al Art. 13 antes citado.

Respecto a la importación de minerales y disposición de residuos, este Servicio no se encuentra investido de facultades de fiscalización.

8.1.2. Potestades reguladoras o normativas

A la luz del DFL 302 de 1960, actualizado por la Ley 18.889 de 1989, el organismo regulador en materia minera es el Ministerio de Minería. El artículo 5° letra a) le atribuye a dicha Secretaría de Estado la facultad de dictar decretos para el fomento de la minería y la protección de las riquezas mineras nacionales.

En la letra f) de la misma disposición, se expresa que el Ministerio de Minería debe dictar normas para el abastecimiento de materias primas mineras de la industria nacional, y en caso necesario, disponer su reserva, racionamiento o distribución.

8.1.3. Potestades sancionatorias

De conformidad al Reglamento de Seguridad Minera, el SERNAGEOMIN puede sancionar a las empresas mineras por el incumplimiento de las normas de aquel reglamento y la no de adopción de medidas que haya impuesto este organismo.

En virtud de los artículos 590 y siguientes del Reglamento de Seguridad Minera, se habilita al SERNAGEOMIN a imponer sanciones, en virtud de una resolución del Director Nacional del Servicio, y que como primer paso conlleva aplicación de multas. Verificada la reincidencia en las infracciones, se puede imponer el cierre temporal o definitivo de las faenas.

Esta última sanción también procede de forma directa cuando las infracciones y perjuicios son considerados como graves.

8.2. Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)

La Comisión Nacional de Medio Ambiente ("CONAMA") es un ente administrativo funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propios, cuyas funciones más relevantes, de acuerdo al artículo 70 de la ley N° 19.300 sobre bases generales del medio ambiente, se refieren a proponer políticas ambientales al Presidente de la República; informar sobre el cumplimiento y aplicación de la normativa ambiental; administrar el sistema de evaluación de impacto ambiental, así como el proceso de elaboración de normas de calidad ambiental y de emisión; y actuar como un órgano de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias

ambientales. En la actualidad, ve investido a su Presidente con la calidad de Ministro de Estado y espera a la nueva institucionalidad que poseerá competencias en esta materia.

En lo que se refiere a la actividad de generación eléctrica de fuente nuclear, la CONAMA detenta potestades de fiscalización, regulación y de sanción para las distintas fases de la actividad en estudio. A continuación analizaremos cada una de ellas:

8.2.1. Potestades fiscalizadoras

Por tratarse de actividades susceptibles de causar impacto ambiental, deben someterse a la evaluación de impacto ambiental las señaladas en el Art. 10 de la ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, entre ellas:

"d) reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas.

i) Proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda

ñ) Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas.

Además, de acuerdo al artículo 11 de la misma ley, también requieren la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental si generan o presentan a lo menos uno de los efectos, características o circunstancias, en él señalados, entre ellos, "a) Riesgos para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.

Como se puede apreciar, este organismo despliega un control preventivo de la normativa ambiental en esta fase de estudio. Una vez que se encuentran operando los reactores nucleares, le compete a otros órganos públicos la fiscalización de los mismos.

La CONAMA sólo volverá a intervenir para la aplicación de sanciones.

8.2.2. Potestades Reguladoras o normativas

La CONAMA carece de potestades para la dictación de normativa sectorial.

8.2.3. Potestades Sancionatorias

Conforme al artículo 64° de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, en caso de incumplimiento de la normativa y verificado por las autoridades administrativas que se encuentran facultadas para fiscalizar, éstas pueden solicitar a la Comisión Regional o Nacional del Medio Ambiente, en su caso, la amonestación, la imposición de multas de hasta 500 unidades tributarias mensuales e, incluso, la revocación de la aprobación o aceptación de la actividad que ocasiona el daño o infracción.

La aplicación de estas sanciones es sin perjuicio del derecho a ejercer las acciones civiles o penales que sean procedentes.

8.3. Municipios

Conforme al artículo 2° inciso segundo de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, estos organismos son corporaciones autónomas de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio, cuya finalidad es satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de las respectivas comunas.

En lo que se refiere a la actividad de generación eléctrica de fuente nuclear, este órgano detenta potestades de fiscalización y regulación. La facultad para imponer sanciones a las infracciones de la normativa municipal le compete al Juzgado de Policía Local competente. A continuación analizaremos sus potestades:

8.3.1. Potestades de Fiscalización

Le corresponde a los municipios velar por el cumplimiento del plan regulador comunal y de las ordenanzas correspondientes. Asimismo, los Municipios aprueban los proyectos de obras de urbanización y construcción que se ejecuten en las áreas urbanas y urbano/rurales, de conformidad a su Ley Orgánica Constitucional, Ley General de Urbanismo y Construcción y su Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Esta facultad resulta relevante para efectos de la construcción de plantas de enriquecimiento, plantas de producción de energía nuclear y de disposición de desechos radioactivos.

Además, conforme al artículo 5° letra k) de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, le corresponde atribuciones de control en materia ambiental, dentro de su ámbito territorial de competencia.

8.3.2. Potestad reguladora o normativa

En virtud del artículo 5° letra d) de su Ley Orgánica Constitucional, las Municipalidades cuentan con atribuciones para dictar resoluciones obligatorias con carácter general. El artículo 12 clarifica que estos actos se denominarán ordenanzas.

Las ordenanzas son normas generales y obligatorias aplicables a la comunidad. En ellas pueden establecerse multas para los infractores, cuyo monto no excederá de cinco unidades tributarias mensuales, las que son aplicadas por los juzgados de policía local correspondientes.

Las ordenanzas pueden ser referentes a asuntos sobre la construcción de instalaciones nucleares, con lo que, de manera tangencial (por no regular directamente), puede afectar esta actividad.

8.4. Servicio Agrícola y Ganadero

El artículo 1° de la Ley Orgánica N° 18.755 prescribe que el Servicio Agrícola y Ganadero ("SAG") es un servicio funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. El SAG está sometido a la supervigilancia del Presidente de la República, a través del Ministerio de Agricultura.

En el artículo 2° agrega que el SAG tiene por objeto contribuir al desarrollo e incremento de la salud animal y vegetal; la protección y conservación de los recursos naturales renovables que inciden en el ámbito de la producción agropecuaria del país y el control de insumos y productos agropecuarios sujetos a regulación en normas legales y reglamentarias.

En lo que se refiere a materia nuclear, el SAG detentaría algunas potestades referentes a la protección de los asuntos propios de su objeto, mas ello no se ha establecido de forma expresa sobre el asunto de nuestro interés. Con todo, dada la amplitud de las expresiones de la Ley Orgánica del SAG, podemos sostener su intervención.

De esta forma, en lo que se refiere a la actividad de generación eléctrica de fuente nuclear, este órgano detentaría potestades de fiscalización y sanción. A continuación analizaremos estas:

8.4.1. Potestades fiscalizadoras

Aun cuando no se establezcan expresamente por su ley orgánica potestades respecto al desarrollo de energía nuclear, podemos señalar que de acuerdo al artículo 2, que dispone "El Servicio tendrá por objeto contribuir al desarrollo e incremento de la salud animal y vegetal; la protección y conservación de los recursos naturales renovables que inciden en el ámbito de la producción agropecuaria del país y el control de insumos y productos agropecuarios sujetos a regulación en normas legales y reglamentarias", el SAG puede fiscalizar cuando la salud animal o vegetal se vea afectada.

8.4.2. Potestades reguladoras o normativas

El SAG carece de potestades para regular, ya que esta está entregada al Ministerio de Agricultura. Con todo, dicho Servicio puede proponer a dicho Ministerio la dictación de reglamentación idónea para la consecución de sus fines.

8.4.3. Potestades sancionatorias

El SAG, de acuerdo al Art. 3 letra a) de su Ley orgánica, puede sancionar el incumplimiento de normas legales y reglamentarias cuya fiscalización compete al servicio. Estas sanciones pueden significar multa, decomiso y clausura por hasta 45 días.

En este sentido y de acuerdo al artículo 24 de la Ley sobre Seguridad Nuclear los inspectores de la CCHEN pueden ingresar e inspeccionar cualquier instalación local o medio de transporte para verificar que no se ha producido ninguno de los hechos o circunstancias a que se refiere el artículo 20 de dicha ley y, especialmente deben hacerlo cuando se sospeche o se denuncie que pueden producir daño a la salud y seguridad de las personas, a los bienes, a los recursos naturales o al medio ambiente; o que en ellos existe contaminación radiactiva o se están utilizando, manipulando o guardando sustancias nucleares o materiales radiactivos en forma indebida. Cuando dichos hechos entrañen los riesgos anteriormente señalados, el inspector que los verifique, puede, en atención al numeral n° 4 del artículo 27 de la LSN, proceder a la incautación, previo acuerdo de la Comisión, de cualquier sustancia nuclear o material radiactivo que esté en situación de dañar a las personas, los bienes, los recursos naturales o el medio ambiente; o que alguna persona mantenga, guarde, maneje o utilice en forma indebida.

Por último, aplicada la sanción de multa y no haberse verificado su cumplimiento, se pueden aplicar apremios para la obtención de su pago.

8.5. Ministerio de Vivienda y Urbanismo

De acuerdo a la ley 16391 de 1965 y posteriores modificaciones, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo ("MINVU") formula y supervigila las políticas nacionales en materia habitacional y urbanística y las normas técnicas para su cumplimiento, como asimismo, la administración de los recursos que se le hayan entregado y la coordinación y evaluación metropolitana y regional en materia de vivienda y urbanismo.

En lo que se refiere a la actividad de generación eléctrica de fuente nuclear, este órgano detenta potestades de fiscalización y regulación. A continuación analizaremos estas:

8.5.1 Potestades fiscalizadoras

Ciertamente, el MINVU detenta potestades de fiscalización, pero ésta se verifica en términos "macro", en lo que se refiere a la planificación urbana. En efecto, el artículo 2, numeral 4° de su Ley Orgánica, señala que el MINVU ejercerá funciones de "Supervigilar todo lo relacionado con la planificación urbana, planeamiento comunal e intercomunal y sus respectivos planes reguladores, urbanizaciones, construcciones y aplicación de leyes pertinentes sobre la materia", razón de corresponderle la planificación del desarrollo urbano a nivel nacional.

El MINVU carece de competencia para pronunciarse en el caso concreto sobre la instalación de un establecimiento nuclear, mas podría fiscalizar en términos generales que este tipo de infraestructura se ubique en zonas idóneas y prefijadas en los planes reguladores.

8.5.2 Potestades reguladoras o normativas

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo es el órgano competente para planificar el desarrollo urbano a nivel nacional, estableciendo normas específicas para los estudios, revisión, aprobación y modificaciones de los instrumentos legales a través de los cuales se aplique. El "ordenamiento territorial" constituye un elemento de planificación de políticas públicas aplicables al uso del territorio que reviste fuerte importancia al momento de definir políticas y estrategias en torno al desarrollo de energía nuclear. Ello es particularmente evidente al considerar la definición de espacios de uso del territorio para la instalación y funcionamiento de industrias que utilicen estas sustancias.

8.6 Dirección General de Aguas

La Dirección General de Aguas ("DGA") es el organismo del Estado encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente; y proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica, ambas con el objeto de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas[428]. Es un órgano dependiente del Ministerio de Obras Públicas ("MOP").

La DGA planifica el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales y formula recomendaciones para su aprovechamiento.

Junto con ello, está a cargo de constituir derechos de aprovechamiento de aguas, realizar labores de investigación y medición del recurso

Asimismo, se ocupa de mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, y proporciona y publica la información correspondiente

La DGA propende a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público, así como de las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.

Por último, la DGA ejerce la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impide que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad a quien corresponda aprobar su construcción o autorizar su demolición o modificación.

8.6.1 Potestades fiscalizadoras

Sin perjuicio del deber de vigilancia que compete a las Juntas de vigilancia, la DGA asume esta facultad cuando no existe junta de vigilancia, respecto de obras mayores que signifiquen perjuicio para los cauces y supervigila la intervención en cauces naturales de uso público.

Ciertamente se refiere a una vigilancia en subsidio, pero que ha de ser fundamental para asegurar la extracción de agua para el enfriamiento requerido en instalaciones nucleares.

[428]Política Nacional de Recursos Hídricos. Santiago. 1999. En http://www.dga.cl/otros/documentos/Politica_Recursos_Hidricos.pdf

8.7. Autoridades Sanitarias

En materia sanitaria concurren dos órganos públicos competentes, a saber, el Ministerio de Salud, a quien le corresponde formular, fijar y controlar las políticas de salud y al respectivo SEREMI de Salud que tiene por funciones fiscalizar el cumplimiento de la normativa sanitaria ambiental en las áreas de alimentos, aire, aguas, acústica, condición de seguridad de trabajadores, residuos domiciliarios e industriales, control y aplicación de plaguicidas, así como también en centros de salud, hogares de larga permanencia, farmacias, consultorios y clínicas. Para efectos de la actividad nuclear, estas funciones han de adquirir relevancia en la prevención de accidentes ocasionados por la liberación de residuos o desechos.

A continuación, analizaremos las facultades de cada uno de ellos.

8.7.1. Potestades fiscalizadoras

Ambos órganos públicos podrían intervenir a lo largo de todo el ciclo nuclear, en atención en que cada una de sus etapas existe riesgo para la salud de las personas. Así, por ejemplo, podrán sus fiscalizadores ingresar a las instalaciones radiactivas para verificar el cumplimiento del Decreto n°3, del año 1985 del Ministerio de Salud de Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas, o fiscalizar el trasporte de sustancias radiactivas respecto al cumplimiento del decreto n° 12, del año 1985 del Ministerio de Minería, Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos.

En efecto, el artículo 86 del Código Sanitario, encomienda al respectivo SEREMI de Salud dentro del territorio de su competencia, el control de las instalaciones radiactivas y de los equipos generadores de radiaciones ionizantes; y la prevención de los riesgos derivados del uso y aplicación de las sustancias radiactivas y de las radiaciones ionizantes, respecto de las personas expuestas, del elemento que las genera y del medio ambiente.

Por su parte, el Art. 4 del DFL N°1 del año 2005 del Ministerio de Salud,1 señala que el Ministerio de Salud tiene por función la fiscalización de las disposiciones contenidas en el Código Sanitario y demás leyes, reglamentos y normas complementarias y la sanción a su infracción cuando proceda, en materias tales como higiene y seguridad del ambiente [...]" esto debemos concordarlo con el artículo 155 del Código Sanitario, el cual señala que este Ministerio para la debida aplicación del Código Sanitario, y de sus reglamentos, decreto y resoluciones puede practicar la inspección y registro de cualquier sitio, edificio, casa, local y lugares de trabajo, sean públicos o privados.

8.7.2. Potestades sancionatorias

De acuerdo al artículo 9 del Código Sanitario, le corresponde al SEREMI de Salud por el cumplimiento de sus disposiciones y de los reglamentos, resoluciones e instrucciones que lo complementen, y sancionar a los infractores

De acuerdo al artículo 174 del Código Sanitario, la infracción de cualquiera de las disposiciones de dicho código o de sus reglamentos y de las resoluciones que dicten las secretarias regionales ministeriales o el Director del Instituto de Salud Pública ("ISP"), según sea el caso, salvo las disposiciones que tengan una sanción especial, será castigada con multa de un décimo de unidad tributaria mensual hasta mil unidades tributarias mensuales. Las reincidencias pueden ser sancionadas hasta con el doble de la multa original.

Las infracciones antes señaladas pueden ser sancionadas, además, con la clausura de establecimientos, edificios, casas, locales, lugares de trabajo donde se cometiere la infracción; con la cancelación de la autorización de funcionamiento o de los permisos concedidos; con la paralización de obras; con el comiso, destrucción y desnaturalización de productos, cuando proceda.

8.7.3. Potestades de Ejecución

El Seremi de Salud debe ejecutar las acciones que correspondan para la protección de la salud de la población de los riesgos producidos por el medio ambiente y para la conservación, mejoría y recuperación de los elementos básicos del ambiente que inciden en ella.

8.7.4 Potestades de coordinación

De acuerdo al Art. 4 del DFL N°1 del 2005, del Ministerio de Salud, el Ministerio de Salud tiene dentro de sus facultades la de coordinación sectorial e intersectorial para el logro de los objetivos sanitarios y coordinación y cooperación internacional en salud.

8.8. Servicio Nacional de Aduanas

El Servicio Nacional de Aduanas es un servicio público dependiente del Ministerio de Hacienda, encargado de vigilar y fiscalizar el paso de mercancías por las costas, fronteras y aeropuertos de la República, de intervenir en el tráfico internacional, para los efectos de la recaudación de los impuestos a la importación, exportación y otros que determinen las leyes, sin perjuicio de las demás funciones que le encomienden las leyes.

8.8.1 Potestades fiscalizadoras

El Servicio tiene facultades para vigilar y fiscalizar el paso por las costas, pasos fronterizos y aeropuertos de mercancías o sustancias peligrosas en general.

8.8.2. Potestades reguladoras o normativas

En relación con la internación e importación de las sustancias químicas peligrosas, dentro de las cuales podemos encontrar las sustancias radiactivas, el Servicio es competente para dictar las normas de régimen interno y los manuales de funciones o de procedimiento, órdenes e instrucciones para el cumplimiento de la legislación y reglamentación aduanera, y proponer al Ministerio de Hacienda la dictación de los reglamentos respectivos.

8.8.3. Potestades de Ejecución

De acuerdo al Art. 10 de la LSN, el transporte de sustancias nucleares o materiales radiactivos se hará en la forma más segura, directa y rápida posible, según las condiciones que se establezcan en los reglamentos.

La Dirección Nacional de Aduanas tramitará y despachará su envío en forma preferente, y no podrá abrir los bultos en tránsito sin previa citación del remitente o destinatario responsable y en presencia de un inspector de la Comisión, quien deberá levantar acta de lo obrado.

VI. PROCESO DE EVALUACIÓN, APROBACIÓN Y LICENCIAMIENTO DE INVERSIONES ENERGÉTICAS

1. Introducción

En el presente capítulo abordaremos el proceso de licenciamiento del emplazamiento y construcción de una planta de energía nuclear, y de sus actividades anexas. Para ello, primero nos referiremos en términos generales al marco conceptual de la autorización nuclear, refiriéndonos a la actividad de autorización administrativa que ejerce el Estado mediante servicios especializados, categoría dentro de la cual se encuentra el licenciamiento de plantas nucleares. Luego pasaremos revista a las actividades relacionadas con la generación núcleo-eléctrica para determinar como se licencian tanto en el contexto internacional como en el contexto nacional, no sin antes revisar que nos señala el Derecho Internacional al respecto. Para lograr ello cabalmente, separaremos las distintas fases del ciclo de vida de los materiales nucleares, desde su extracción hasta el almacenamiento de residuos, para determinar

como se licencian dichas actividades en los países seleccionados. Luego, comparando los principales modelos comparados, y las recomendaciones de los tratados internacionales con el Derecho Nacional, identificaremos los vacíos y contradicciones de nuestro ordenamiento.

Con posterioridad, en vista de las recientes reformas a la institucionalidad ambiental, hemos destinado un apartado para determinar si es o no es estable la Resolución de Calificación Ambiental en los términos de esa reforma, y en que sentido esa falta de estabilidad puede amenazar la seguridad jurídica que requiere la licencia de funcionamiento de una planta, a modo de refuerzo de los vacíos y contradicciones que hoy tenemos.

Finalmente, intentaremos delinear una suma de los vacíos y contradicciones, y luego ofrecer una serie de recomendaciones para adecuar la normativa nacional, de modo que sea apta para llevar a cabo un programa de generación de energía de potencia.

2. Marco conceptual de la autorización administrativa y del licenciamiento nuclear

La presente introducción expone, en primer lugar, el marco conceptual de la autorización administrativa, a fin de caracterizar adecuadamente el licenciamiento nuclear, y recordar cuáles son los principios generales del derecho nuclear referidos al licenciamiento. A continuación se presenta la metodología y criterios empleados para abordar el análisis comparado del licenciamiento nuclear. Por ello, antes de referirnos directamente al licenciamiento nuclear y a los puntos críticos que se desprenden del Derecho comparado y de los tratados internacionales, presentamos brevemente el marco normativo de las autorizaciones administrativas en general.

2.1. La autorización como técnica de intervención administrativa

La autorización es una de las técnicas tradicionales de intervención administrativa. La mayor expansión de la autorización se produce históricamente con la expansión de las actividades estatales en el siglo XX, siglo en el que los gobiernos multiplican sus responsabilidades en orden a garantizar que el ejercicio de las actividades privadas se ajuste a las exigencias del interés general. Debe notarse que las privatizaciones y desregulaciones características de las dos últimas décadas del siglo XX, han significado entregar al sector privado actividades que antes eran realizadas por el Estado, ampliando el ámbito de aplicación de la autorización.

A nivel de doctrina general, en el Derecho administrativo se discute si la autorización, permiso o licencia administrativa —como opuesto a concesión administrativa— constituye o no una categoría unitaria. Se trata de saber si existe unidad o

fragmentación en la regulación subsidiaria que aplicaría eventualmente a todas las autorizaciones. Algunos afirman que la autorización presenta tal grado de heterogeneidad que resulta imposible reconducirla institucionalmente a una sola realidad[429]; las disparidades normativas son tales que resulta imposible trazar las líneas generales de un régimen común que, sencillamente, no existe[430].

A veces se ha dicho que la distinción entre autorización, licencia y permiso se debe al origen privado de estos términos. No han faltado autores que, tras ello, han querido descubrir una dispar naturaleza de estas categorías. Pero, la realidad es que los términos son indistintamente utilizados por las normas, aparentemente sin más criterio que la rutina en su aplicación a unos y otros sectores. Por otra parte, resulta difícil hacer distinciones doctrinarias cuando el uso de los términos es muchas veces fruto de la globalización y del mestizaje de culturas jurídicas, especialmente visible cuando se procede a incorporar más o menos mecánicamente normas de otras culturas o del derecho internacional.

Sin perjuicio de lo ya señalado, en el derecho administrativo continental las autorizaciones suelen tener en común el control preventivo que la Administración realiza respecto de la actuación de un ciudadano o empresa, con el fin de comprobar que reúne las condiciones que aseguran que su comportamiento no dañará los intereses generales u otros intereses tutelados por la ley. Las autorizaciones usualmente coinciden en algunos de los siguientes aspectos[431]:

a) **La Administración lleva a cabo un *control previo* del ejercicio de actividades privadas.**

Lo habitual es que la Administración controle activamente la legalidad y contenido material del ejercicio de actividades privadas por parte del autorizado o licenciado. Las facultades de control administrativas tienden a variar en extensión e intensidad, esto en función del tipo de potestad que se ejercite:

- En las llamadas autorizaciones regladas, la Administración debe limitarse a comprobar que el solicitante cumple las condiciones previstas en la normativa.
- En las autorizaciones discrecionales, la norma encomienda a la Administración la valoración de la oportunidad de ejercicio de una actividad, dilucidando si es o no compatible con las exigencias que impone el interés general en los términos definidos por la ley.

[429] *Vid.* Martín Retortillo Baquer, Sebastián. *Derecho Administrativo Económico,* Volumen I, La Ley, Madrid, 1988, p. 189.
[430] Santamaría Pastor, Juan Alfonso. *Principios de Derecho Administrativo*. Madrid, Centro de Estudios Ramón Areces, 2002. Volumen II, p. 267.
[431] Laguna de Paz, José Carlos. *Op.Cit.* 37 y ss.

b) La razón de ser del control previo de la actividad es el riesgo o potencial daño que una cierta actividad representa para terceros o para el interés general

A estos efectos, se toma en cuenta que determinadas actuaciones —por sí mismas o por las circunstancias en que se desarrollan— pueden incidir de forma sensible en la realidad (territorio, recursos naturales) o poner en peligros bienes o valores que demandan una protección especial (seguridad de las personas, protección del medio ambiente, etc.).

c) En algunos casos, la posición jurídica del particular se caracteriza por la preexistencia del derecho a realizar la actividad

Históricamente, la autorización procedía en aquellos casos en que los privados tenían derecho a realizar la actividad en cuestión, normalmente con base en los principios generales de libertad de empresa y, más genéricamente, en el libre desarrollo de la personalidad. En tal contexto, la autorización administrativa no otorgaba derechos, sino que sólo declaraba la posibilidad de su ejercicio. Este enfoque se contrastaba con la concesión administrativa, vía por la cual la autoridad creaba derechos nuevos no-preexistentes.

Ahora bien, en la actualidad, la distinción tradicional entre autorización y concesión se ha visto superada. Hoy nadie discute que los rasgos típicamente característicos de una u otra técnica no son sino una mera abstracción, pues con frecuencia se entremezclan. Por el contrario, sí mantiene su vigencia, y es conveniente mencionarlo aquí, la distinción entre autorizaciones de operación y autorizaciones de funcionamiento. Las primeras tienen por objeto autorizar la realización de una actuación concreta y determinada; la administración lleva a cabo un control inicial de la actividad, con el fin de comprobar que su ejercicio no es contrario al interés general, seguido de la correspondiente vigilancia de su desarrollo.

Las segundas —que se asemejan a la definición tradicional de concesión— se proyectan sobre las actividades que en cada momento se consideran trascendentes para la vida colectiva, lo que justifica que se sujeten a una especial intervención administrativa. Estos actos habilitan para realizar una actividad de manera indefinida, o cuanto menos, durante un amplio espacio temporal. Se instaura así una relación jurídica de tracto sucesivo entre la Administración y el sujeto autorizado, que cimenta un status jurídico de supremacía especial. Ciertamente que, en virtud del principio de control continuo que veremos más abajo, el licenciamiento nuclear responde necesariamente al tipo de autorización de funcionamiento.

d) Las autorizaciones son *actos administrativos* unilaterales

Sin perjuicio de tratarse de actos administrativos unilaterales, es usual que las autorizaciones contengan cláusulas especiales que contribuyan a definir el régimen concreto al cual se sujete la actividad autorizada. Por otra parte, aunque no imposible, no es habitual que las autorizaciones se estructuren a través de contratos administrativos.

e) La autorización es una *declaración de voluntad* dirigida a producir efectos jurídicos vinculantes

Conforme a la formulación tradicional, la autorización declara el derecho a desarrollar una actividad o aprovechamiento. No se trata por ello de una mera constancia o declaración de conocimiento, al modo de una inscripción registral. Tampoco es una certificación administrativa de aptitud, que declara genéricamente la idoneidad del sujeto. La autorización es una declaración de voluntad, por medio de la cual la Administración se pronuncia respecto a un sujeto y su capacidad de realizar la actividad en cuestión en los términos exigidos por la ley.

f) La autorización confiere a su titular una *situación jurídicamente protegida*

Los titulares de autorizaciones gozan de un derecho o interés legítimo, que constituye para todos los efectos prácticos una situación jurídicamente protegida. Además, no debe olvidarse que, desde una perspectiva de protección de las inversiones, los licenciatarios cuentan con un protección a la "certeza jurídica de las inversiones", más aún tratándose de inversiones de largo tiempo que implican altos costos hundidos.

2.2 Principios que informan el licenciamiento nuclear

Tanto el derecho comparado como la legislación nacional conciben que una actividad especialmente riesgosa, como la generación núcleo-eléctrica, requiere de un mecanismo de autorización, sea bajo el rótulo de "permiso", "autorización", "certificado", "licencia", "aprobación" o "concesión". Es la ley la que determina en forma previa qué actividades requieren autorización y cuáles no, considerando el nivel de riesgo que la actividad genere, y siendo la regla general en materia nuclear, la autorización.

Es así como el principio de autorización es una de las directrices que, de acuerdo al Organismo Internacional de Energía Atómica, debe inspirar todo ordenamiento jurídico-nuclear. Conforme a este principio, es necesario graduar el nivel de exigencias y requisitos que debe cumplir el proponente de una instalación o actividad conforme

al mayor o menor riesgo que conlleva su operación o ejecución. Es más, aún tratándose de actividades cuyos riesgos se consideren muy bajos por el organismo regulador en materia nuclear, y que puedan no requerir autorización expresa, se requiere a lo menos de una autorización general en forma de exención, precisándose que no obstante, el organismo regulador siempre conserva la facultad de revocar tales autorizaciones generales si surgen datos que indican que los riesgos de una actividad son excesivos[432].

Ligado al principio de autorización, el derecho nuclear reconoce el principio de control continuo, conforme al cual, incluso cuando se concede la autorización para realizar determinadas actividades, el organismo regulador debe conservar la facultad de control continuo a fin de asegurarse de que estas actividades se ejecutan de manera tecnológica y físicamente segura y de acuerdo con las condiciones de la autorización[433].

La creación de un órgano regulador nuclear independiente es condición necesaria pero no suficiente para asegurar el correcto funcionamiento de una central núcleo-eléctrica así como de las instalaciones de disposición final de sus desechos. Es también necesario dotarlo de potestades para otorgar y revocar autorizaciones de funcionamiento de actividades nucleares. El regulador debe determinar quién puede operar, en qué condiciones, y si el solicitante entrega las garantías suficientes para desarrollar esta actividad y asumir las exigencias que involucra la actividad nuclear en todas sus etapas.

Los términos de la licencia o autorización —en cuanto componentes esenciales del marco de regulación efectivo y conjuntamente con otras normas legales y reglamentarias— son elementos esenciales que definen las normas de actuación segura y confiable que observará el operador de una instalación nuclear, delineando igualmente las acciones de seguimiento y fiscalización que competan al órgano regulador.

3. Licenciamiento en los tratados internacionales

Para determinar el rol de los tratados internacionales en materia de licenciamiento, primero revisaremos la Convención sobre Seguridad Nuclear, de la cual se desprende que cada país debe contar con un sistema de otorgamiento de licencias relativas a las instalaciones nucleares, así como de prohibición de explotación de una central que carezca (o pierda) la respectiva licencia. Lo anterior supone que, durante la vigencia

[432] Véase también Stoiber, C. Baer A., Pelzer N. Tonhauser W. *Manual de Derecho Nuclear,* IAEA, Viena, 2006, p. 8.
[433] *Ibídem*, p. 8-9.

de la licencia, existirá una inspección permanente por parte de la autoridad reguladora nuclear, conforme al principio de control continuo ya señalado, para verificar el cumplimiento de las condiciones de otorgamiento de la licencia. Luego, se debe contar con formas para asegurar el cumplimiento de las normas aplicables, incluido lo establecido en la autorización o licencia, tales como medidas de suspensión, modificación o revocación de ésta.

En lo referente a la generación núcleo-eléctrica, se considera que el licenciamiento incluye las actividades de producción de electricidad, localización, diseño, construcción, entrada en servicio, explotación, clausura y desmantelamiento de las centrales. Asimismo, comprende un mecanismo autorizatorio para todo el ciclo del combustible nuclear, incluyendo la gestión de los combustibles gastados y desechos radiactivos.

Respecto del licenciamiento en general, los tratados en materia nuclear determinan un mínimo necesario y deseable para el desarrollo de proyectos de energía de potencia. Los tratados, en vista de que no pueden atender a las particularidades de cada estado y por ende de cada matriz energética, se limitan a determinar dicho mínimo mediante expresiones de orden general, las que se traducen en principios. Al no poder dar un paso más allá, estas determinaciones son necesariamente vagas y poco específicas[434]

Las principales razones para establecer este mínimo común denominador en materia nuclear se pueden resumir en tres: para facilitar los requerimientos de cooperación internacional, por los efectos transfronterizos de la radiactividad, y para abordar los conflictos de intereses, respecto de todos los sujetos, que las actividades nucleares pueden motivar[435].

Cabe señalar que, en términos generales, la necesidad de licenciamiento de las actividades que causan impacto ambiental, se encuentra recogida como preocupación medioambiental básica en el principio 17 de la Declaración de Río de Janeiro de 1992, adoptada por las partes en la "Cumbre de la Tierra" de las Naciones Unidas[436]. Es entonces en virtud del principio preventivo que las actividades que causan impacto

[434] Morales Plaza, A. La Regulación Nuclear Globalizada. Editores La Ley. España. 2009, p. 144.
[435] Morales Plaza. *Op. Cit*. p. 143. Siguiendo a Ayllón, Díaz-González, J.M. Derecho Nuclear. Editorial Comares. España. 1999. pp. 53 y ss.
[436] Declaración de Río de Janeiro. 1992. Principio 17. "Deberá emprenderse una *evaluación del impacto ambiental*, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que este sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente." El énfasis es agregado por nosotros.

ambiental deben someterse a una evaluación de estos impactos, idea que se repite en las legislaciones domésticas así como en otros tratados[437].

Ahora bien, entre los tratados en materia nuclear, hacen referencia específica al licenciamiento los siguientes:

- La Convención sobre de Seguridad Nuclear de 1994 en su artículo 7º referido al Marco legislativo y reglamentario, dispone en el nº 1 que "cada Parte Contratante establecerá y mantendrá un marco legislativo y reglamentario por el que se regirá la seguridad de las instalaciones nucleares", señalando en su nº 2 que "El marco legal y reglamentario preverá el establecimiento de (...) ii) un sistema de otorgamiento de licencias relativas a las instalaciones nucleares, así como de prohibición de la explotación de una instalación nuclear carente de licencia".

- La Convención sobre Protección Física de Materiales Nucleares de 1979 dispone en sus artículos 7.1 y 7.2, como requerimiento de adecuación penal, que deben existir en la legislación sanciones para la recepción, posesión, uso, transferencia, alteración, evacuación o dispersión d e materiales nucleares sin autorización legal cuando este acto cause o pueda causar muerte o lesiones graves o daños materiales sustanciales[438].

- La Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos de 1998 (artículos 19.1 y 19.2)[439]

[437] La evaluación de impacto ambiental es definida en nuestra Ley 19.300 como "el procedimiento, a cargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente o de la Comisión Regional respectiva, en su caso, que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes". Como sabemos, este procedimiento culmina, en nuestro país, en una resolución de calificación ambiental que puede aprobar, rechazar, o aprobar con condiciones un proyecto.

[438] Convención sobre Protección Física de Materiales Nucleares. 1980. Artículo 7 "1.La comisión intencionada de:... a) un *acto* que consista en recibir, poseer, usar, transferir, alterar, evacuar o dispersar materiales nucleares *sin autorización legal,* si tal acto causa, o es probable que cause, la muerte o lesiones graves a una persona o daños materiales sustanciales... será considerada como delito punible por cada Estado Parte en virtud de su legislación nacional. 2. Cada Estado Parte deberá considerar punibles los delitos descritos en el presente artículo mediante la imposición de penas apropiadas que tengan en cuenta la gravedad de su naturaleza." El énfasis es agregado por nosotros.

[439] Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos. 1998. Artículo 19. "Marco legislativo y regulatorio. 1. Cada Parte Contratante establecerá y mantendrá un marco legislativo y regulatorio por el que se regirá la seguridad en la gestión de combustible gastado y de desechos radiactivos. 2. Este marco legal y regulatorio contemplará el establecimiento de:... ii) Un *sistema de otorgamiento de licencias* para las

4. Puntos críticos que emanan del análisis comparado del licenciamiento nuclear

4.1. Aspectos metodológicos

El presente informe requiere que en materia de aprobación, evaluación y licenciamiento, se elabore un "análisis jurídico que sintetice la forma de abordar los puntos críticos que un eventual ingreso de la energía nuclear implicaría en el contexto de la legislación chilena vigente, identificando para ello, las alternativas existentes en la derecho comparado". A ello se agrega, la exposición de los requisitos de licenciamiento establecidos en los tratados[440]

Para alcanzar el objetivo planteado, el equipo realizó un levantamiento de información respecto del licenciamiento nuclear en un conjunto de países[441], examinando, respecto de cada uno de ellos, el régimen de licenciamiento.

Para efectos de llevar a cabo un análisis completo del tratamiento que se le da en el derecho comparado a la autorización o licenciamiento en lo que se refiere a la regulación de la actividad nuclear, procedimos a distinguir entre las distintas etapas que involucra precisamente esta clase de actividad de generación de energía eléctrica.

Para ello, integramos el concepto de "ciclo del combustible nuclear", el cual comprende la fabricación de combustibles nucleares a partir de materiales radiactivos (1° fase del ciclo), la utilización operativa de dichos combustibles en reactores nucleares de fisión y el tratamiento del combustible una vez gastado (2° fase del ciclo)[442] Igualmente incluimos otras actividades autorizables, dado el riesgo que involucran para la sociedad, así nos referimos al transporte, el tratamiento de los residuos radiactivos y el cierre o clausura de las instalaciones nucleares.

Conforme a lo anterior, optamos por analizar el licenciamiento en las siguientes etapas o fases:

- Extracción e importación.
- Transporte (marítimo, aéreo y terrestre).

---

actividades de gestión de combustible gastado y de desechos radiactivos." (El énfasis es agregado por nosotros).

[440] Según la organización del equipo de trabajo se aborda acá el tema de los convenios internacionales en el punto relativo a tratados internacionales.

[441] Argentina, Alemania, Brasil, Canadá, España, Estados Unidos de Norteamérica, Francia, Finlandia, Reino Unido y República Checa.

[442] Morales Plaza, Antonio. *La regulación nuclear globalizada*. Editorial La Ley, Madrid, España, 2009, p. 520 y ss.

- Construcción y emplazamiento de una planta de generación de energía nuclear.
- Operación y desmantelamiento de una planta de generación de energía nuclear (incluida la disposición transitoria de desechos).
- Abandono y disposición final de residuos (al respecto se mira conjuntamente la gestión de desechos y de combustible nuclear gastado).

Respecto de cada una de estas etapas, al analizar los regímenes de licenciamiento, nos propusimos examinar preferentemente los siguientes aspectos, según la disponibilidad de información:

- Qué etapas del ciclo de vida abarcan las licencias.
- Qué actividad se autoriza.
- La naturaleza jurídica de la licencia y nivel de autorización.
- El organismo que la otorga[443], y respecto de éste, aspectos como su naturaleza autonomía y competencia territorial, y sus funciones.
- Normas que regulan el licenciamiento.
- Si existen principios que lo informan.
- Sus procedimientos y etapas.
- El nivel y tipo de participación ciudadana. Papel de la evaluación de impacto ambiental, y su relación con el licenciamiento.

4.2. Del licenciamiento de las actividades extractivas de material nuclear

4.2.1. Del licenciamiento de actividades extractivas en general.

De los países analizados, los siguientes presentan actividades extractivas de material nuclear: Alemania[444], Brasil[445], Canadá[446], Estados Unidos[447], Francia y República Checa[448], ya sea fuera o dentro de sus territorios. En especial, Francia, mediante la sociedad estatal COGEMA, es el más importante suministrador de uranio en el mundo, presta servicios a casi la mitad de las centrales nucleares existentes y posee

[443] Ver sección de regulación y fiscalización del presente informe.
[444] *Länderausschuss Bergbau*. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, *Der Bergbau in der Bundesrepublick Deutschland 2005*, Berlín, 2006, p. 35. Disponible en http://bit.ly/dxrCkF
[445] Brasil ostenta una producción de 389,61 ton en el 2008. Ver: Industrias Nucleares do Brasil. Producción. [en línea] < http://bit.ly/aLejji > [visitada el 2 de diciembre de 2009].
[446] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Legislación Nuclear en los países de la OCDE: Marco regulador e institucional para las actividades nucleares de Canadá. [en línea] <http://www.nea.fr/html/law/legislation/canada.pdf> [visitada el 23 de noviembre de 2009] p. 3.
[447] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Legislación Nuclear en los países de la OCDE: Marco regulador e institucional para las actividades nucleares de Estados Unidos. [en línea] <http://www.nea.fr/html/law/legislation/usa.pdf> [visitada el 23 de noviembre de 2009] p. 4.
[448] OECD, *Nuclear Legislation in OECD Countries, Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*, Czech Republic, 2008, p. 4. Disponible en: http://bit.ly/9N4CoH

yacimientos en Canadá, Estados Unidos, Nigeria, Senegal, Gabón, Australia y Francia[449]. Los demás países no presentan dicho tipo de actividades, sin perjuicio que no se han descartado en sede normativa, salvo Bélgica[450], y Suiza que no ha dado una regulación al tema salvo para establecer repositorios subterráneos[451].

Para efectos de licenciar actividades extractivas encontramos las siguientes alternativas regulatorias. Por una parte, algunos países han optado por licenciar la minería de estos materiales mediante sus organismos generales de minería, tomando prevenciones especiales en razón de la peligrosidad laboral y ambiental que puede acarrear la minería de materiales radiactivos. En cambio, otros países han decido entregar el licenciamiento de estas actividades a una agencia especial, bajo un procedimiento igualmente especial, dado que el ciclo completo de estos materiales, desde "su cuna a su tumba", debe ser especialmente regulado.

En la primera situación se encuentras varios países. Por ejemplo, en **Alemania**, la exploración de minerales radiactivos requiere de permiso y las operaciones de extracción de una licencia o concesión, todo ello de acuerdo a lo establecido por la Ley Federal de Minería (1980)[452]. La licencia para manejar sustancias radioactivas establecida por la Ordenanza de Protección Radiológica (1989)[453] no es requerida para las actividades de exploración, extracción y tratamiento reguladas por la Ley Federal de Minería, aunque sus disposiciones sobre protección contra la radiación sí aplican. Estos permisos y licencias son otorgados por las autoridades mineras existentes en cada "Land" o unidad territorial[454].

En **Finlandia**, la autorización deberá ser concedida por el Ministerio de Economía y de Empleo[455]. Por su parte, en **Francia** se licencia la extracción tomando en cuenta los requerimientos de autorización locales de cada Comisión Departamental de

---

449 Morales, Antonio, *La Regulación Nuclear Globalizada*, La Ley, Madrid, 2009, p. 312.

450 OECD, *Nuclear Legislation in OECD Countries, Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities, Belgium*, 2003, p. 8. Disponible en: http://www.nea.fr/html/law/legislation/belgium.pdf

451 Federación Suiza. Asamblea Federal. Acta sobre Energía Nuclear. 2003. [en línea] <http://www.nea.fr/html/law/nlb/nlb-72/supplement.pdf> [visitada el 23 de noviembre de 2009]. Sección 40. Ver también: Federación Suiza. Consejo Federal. Ordenanza de Energía Nuclear. 2004. [en línea] http://bit.ly/9VtDAL [visitada el 23 de noviembre de 2009]. Sección 6.

452 *Bundesberggesetz*.

453 *Strahlenschutzverordnung*

454 A veces, estos organismos tienen competencia sobre más de un estado. Por ejemplo, en los Länder de Brandenburgo y Berlín, la Oficina de Minería, Geología y Materias Primas (*Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe*), y en Baja Sajonia, Schleswig-Holstein, Bremen y Hamburgo, la Oficina de Minería, Energía y Geología (*Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie*).

455 República de Finlandia. Ministerio de Comercio e Industria. Ley N° 990 de 1987 sobre Energía Nuclear. Finlandia. 1987. [en línea] <http://www.nea.fr/html/law/legislation/finland.html> [visitada el 20 de noviembre de 2009]. Secciones 2.2, 8 y 57.

Canteras[456]. Por su parte, **Italia**[457], **República Checa**[458]y **Holanda**[459] no establecen procedimientos especiales.

Por el contrario, los siguientes países han creado procedimientos e institucionalidad especiales son: Argentina, donde le corresponde a la Agencia Reguladora Nuclear otorgar, suspender y revocar licencias, permisos o autorizaciones en materia de minería y concentración de uranio[460]; **Brasil** que por una parte ha creado una empresa estatal llamada Industrias Nucleares de Brasil y la Comisión brasileña de Energía Nuclear[461]; **Canadá**, país cuya Comisión Nacional de Seguridad Nuclear deberá regular y licenciar las actividades extractivas[462]; **Estados Unidos,** que también cuenta con una regulación especial[463]; **Suecia,** donde se requiere una licencia especial[464]; y el **Reino Unido**, que si bien no contempla regulación de licenciamiento al respecto, sí permite que el estado efectúe exploraciones[465].

Encontrar una explicación a esta diferenciación puede resultar complejo. Una posible vía es que los países que son productores relevantes, como **Estados Unidos, Canadá, y Brasil** recientemente, podrían preferir un organismo especial para tener un mejor control respecto de la extracción en miras de la no-proliferación, y como respaldo para regular mejor sus industrias. Por otra parte, esos tres son estados federados, y, al menos en Estados Unidos, la regulación especial constituye una manera del estado-federal de establecer competencia por sobre la regulación minera general que es propia de cada uno de los distintos estados-estaduales.

Por otra parte, si atendemos a la ubicación geográfica, podemos darnos cuenta de que, en **Europa, salvo Suecia,** la configuración institucional que otorga competencias al

---

456 OECD, *Nuclear Legislation in OECD Countries, Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities, France*, 2003, p. 7.

457 Artículo 2 de la Ley N° 1.860/62, en relación con el Real N° 1.443, de 29 de julio de 1927.

458 OECD, *Nuclear Legislation in OECD Countries, Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*, Czech Republic. *Op. cit*. p. 4.

459 Países Bajos. Ley de Energía Nuclear. Artículo 14.2.

460 República Argentina. Ley Nacional de la Actividad Nuclear. Artículo 16. Para los demás minerales radiactivos, no existe un procedimiento especializado, conforme lo disponen el Código de Minería Argentino, art. 207, la ley de actualización minera N° 24.498, y la ley de título complementario del Código de Minería de la protección ambiental para la actividad minera N ° 24.585.

461 Ver Comisión Nacional de energía Nuclear de Brasil. [en línea] <http://www.cnen.gov.br/> [visitada el 20 de noviembre de 2009].

462 Canadá. Acta de Seguridad y Control Nuclear. 1997. [en línea] <http://laws.justice.gc.ca/en/ShowDoc/cs/N-28.3///en?page=1> [visitada el 25 de noviembre de 2009]. Secciones 24 y 26.b.

463 Uranium Mill Tailings Radiation Control Act. 1978

464 Ley de Minerales (1991:45)

465 Reino Unido. Autoridad de Salud y Seguridad. El licenciamiento de instalaciones nucleares. 2007. [en línea] <http://www.hse.gov.uk/nuclear/notesforapplicants.pdf> [visitada el 29 de noviembre de 2009]. p. 4. Ver también. Reino Unido. Acta sobre Salud. *Op. Cit*. Sección 6.7.

organismos sectorial minero es la dominante no así en América. Quizá esto pueda ser explicado por el mayor afán regulatorio sectorial de los países europeos, pudiendo bastar la actuación de sus organismos sectoriales mineros para un licenciamiento prolijo y riguroso.

En cambio, si atendemos a otros criterios de diferenciación —tales como si los proyectos son de propiedad pública o privada— puede resultar equívoco, pues en ambos grupos de países se puede encontrar ejemplos de uno y otro caso.

4.2.2. Síntesis de los requerimientos de la legislación y tratados internacionales

Como veíamos anteriormente, aún aquellos países que no realizan actividades extractivas, no dejan de descartarla en sede normativa, salvo los casos de Bélgica y Suiza. Las alternativas en materia de licenciamiento de las actividades extractivas son básicamente dos en el Derecho Comparado:

- Que la autorización sea otorgada por los organismos sectoriales con competencia minera, por la vía de licencias mineras normales, premunidas de resguardos especiales por la peligrosidad laboral y ambiental (como los casos de Alemania, Argentina, Finlandia, Francia, Italia, República Checa y Holanda)
- bien que sean de cargo del organismo nuclear especial, a través de procedimientos especiales, de manera de regular el ciclo completo de materiales, desde "su cuna a su tumba" (Brasil, Canadá, Estados Unidos, Suecia, y Reino Unido).

4.2.3. Regulación chilena y principales vacíos y contradicciones detectadas

4.2.3.1. Generalidades sobre el licenciamiento de la actividad extractiva de materiales nucleares

En Chile no existe una normativa especial acerca del licenciamiento de faenas extractivas de minerales radiactivos, por lo que no se ha adoptado de manera clara alguna de las opciones normativas señaladas, es decir, que esta autorización sea otorgada por los organismos sectoriales con competencia minera, o por un organismo especial.

Al no haber normas especiales sobre extracción de minerales radiactivos, ésta se debe regular por el Código de Minería y la Ley Nº 18.097 Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras, textos que nada dicen respecto a cómo se debe licenciar esta actividad en especial, limitándose a establecer un derecho preferente de compra en favor del Estado, a precios de mercado, respecto del torio y el uranio que provengan de explotaciones mineras donde tengan presencia significativa estos minerales, es

decir, cuando el mineral sea susceptible de ser reducido desde un punto de vista técnico y económico.

4.2.3.2. Licenciamiento de la extracción a propósito de la seguridad de los trabajadores en estas faenas

Sin embargo, existe una regulación especial en materia de extracción, pero limitada a la seguridad de los trabajadores, por cuanto la autoridad sanitaria tiene potestades para autorizar y fiscalizar el funcionamiento de una faena extractiva de material radiactivo, mientras que la CCHEN tiene potestades para normar los aspectos de seguridad de dichas faenas.

Esto se debe a que el lugar de emplazamiento de una faena extractiva de material radiactivo es en sí una instalación radiactiva, toda vez que la LSN define en su artículo 3°.10 como instalación radiactiva "aquella en que se *produzcan*, traten, manipulen, almacenen o utilicen materiales radiactivos o equipos que generen radiaciones ionizantes". Por otra parte, es material radiactivo, conforme al artículo 3°.4, "cualquier material que tenga una actividad específica mayor de 2 milésimas de microcurio por gramo".

Luego, debemos entender que la voz "producir" comprende las faenas de extracción de minerales conforme a la normativa general. Específicamente, conforme al artículo 537 de Código Civil, que clasifica a los minerales como productos. Es decir, los productos radiactivos son una especie de producto mineral.

Estas definiciones tienen ciertas consecuencias al momento de operar una faena extractiva, ya que debe acreditarse el cumplimiento de las normas de seguridad pertinentes para acceder a una autorización. Así, el artículo 27 del RSM, dispone que para efectos de la seguridad de las faenas mineras, donde haya exposición a *materiales radiactivos,* se estará a las normas nacionales que dicte la CCHEN, tanto en su proceso de adquisición, como de transporte, almacenamiento, utilización y posterior desecho.

En ese sentido, en el artículo 67 inciso primero la Ley de Seguridad Nuclear se establece como organismo competente para la dictación de normas relativas a las instalaciones radiactivas a la CCHEN, y en su inciso segundo dispone que corresponderá a los Servicios de Salud, conforme a las disposiciones del Código Sanitario, la autorización, control de la aplicación y el manejo de las sustancias radiactivas en instalaciones radiactivas o en equipos generadores de radiaciones ionizantes, y la prevención de los riesgos derivados de su uso y manipulación.

En otras palabras, la autoridad sanitaria tiene potestades para autorizar y fiscalizar el funcionamiento de una faena extractiva de material radiactivo, mientras que la CCHEN tiene potestades para normar los aspectos de seguridad de dichas faenas.

En relación a lo anterior, para esos efectos, se dictó en 1985 el Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas, que establece los parámetros técnicos de seguridad, y designa al Instituto de Salud Pública como laboratorio nacional y de referencia para todos los efectos de las mediciones que establece el reglamento.

4.2.4. Vacíos y contradicciones en la Legislación Chilena

En Chile no se ha adoptado ninguna de las dos opciones regulatorias identificadas en el Derecho Comparado, a excepción de los aspectos de seguridad, existiendo un vacío evidente en la materia, es decir, ni el organismo sectorial minero, ni el organismo nuclear especializado, otorgan una licencia claramente diferenciada para la extracción de minerales nucleares.

4.3. Del licenciamiento de la importación y exportación de combustible nuclear

4.3.1. Del licenciamiento de la importación y exportación de combustible nuclear en general en el Derecho Comparado.

A diferencia de la extracción de material nuclear, en el concierto internacional la importación de material está particularmente licenciada por un organismo especial y por un procedimiento especial. En este aspecto hay plena concordancia en todas las legislaciones analizadas previamente, por lo que el requerimiento de una licencia especial para importar material nuclear es una cuestión pacífica.

Con todo, la licencia está acotada sólo para efectos de importar los combustibles, no pudiendo extenderse a otros efectos. Por ejemplo, en **Alemania** esto se regula en el artículo 3 de la Ley de Energía Atómica. Su otorgamiento requiere que no existan hechos conocidos que den lugar a dudas respecto a la confiabilidad del importador o exportador y que se asegure que el combustible nuclear será usado en conformidad con las disposiciones legales, reglamentarias y las obligaciones internacionales de la República Federal de Alemania en el campo de la energía nuclear.

Por su parte, en **Canadá,** la Ley de Seguridad Nuclear coloca dentro de la esfera de competencias de la Comisión el licenciamiento y regulación de actividades de

importación y exportación[466], al igual que en **Estados Unidos,** donde también la importación de sustancias radiactivas requiere de autorización especial[467].

En el caso de **Finlandia**, la licencia de importación deberá ser otorgada por la Autoridad de Radiación y Energía Nuclear[468], lo mismo que en **Holanda** donde se requiere licencia para importar, exportar, poseer o disponer material fisionable[469]. En el **Reino Unido**, la importación de combustible nuclear requiere de una licencia especial[470], necesidad que viene determinada también por el Acta de Exportaciones e Importaciones de 1939, reformada en 1979[471].

En ese orden de cosas, en la **República Checa**, de conformidad al artículo 9(1) de la Ley de Energía Nuclear, para la importación y exportación de elementos nucleares o el tránsito de sustancias nucleares, se requiere una licencia otorgada por la SÚJB[472]. Igualmente, se exige licencia para la reimportación de residuos radioactivos originados en el procedimiento de sustancias exportadas desde la República Checa[473].

Por su parte, en **Suiza** está prohibida la importación, salvo que se cuente con una licencia. Esta prohibición está dada por el concepto legal de manipulación, que incluye el de tráfico de material nuclear[474]. La licencia es otorgada por la Oficina Federal de Energía[475].

4.3.2. Licenciamiento de la importación de combustibles nucleares en Chile

[466] Canadá. Acta de Seguridad Nuclear. *Op. Cit*. Secciones 24, 26.b), y 44.b).
[467] Atomic Energy Act.1954.
[468] República de Finlandia. *Op. Cit*. Sección 16.
[469] Artículo 15 a), Ley de Energía Nuclear.
[470] Reino Unido. Acta sobre instalaciones nucleares. Acta sobre Instalaciones Nucleares. 1965. [en línea] <http://www.opsi.gov.uk/RevisedStatutes/Acts/ukpga/1965/cukpga_19650057_en_1> [visitada el 29 de noviembre de 2009]. Sección 1.b.II. Ver también OCDE. Regulación nuclear en países de la OCDE: Reino Unido. 2003. [en línea] <www.nea.fr/html/law/legislation/united-kingdom.pdf > [visitada el 29 de noviembre de 2009]. p. 11.
[471] Reino Unido. Acta de Exportaciones e Importaciones. 1939. [en línea] <http://www.opsi.gov.uk/RevisedStatutes/Acts/ukpga/1939/cukpga_19390069_en_1> [visitada el 29 de noviembre de 2009]. Sección 1.
[472] *Státní úřad pro jadernou bezpečnost.* (Oficina Estatal de Seguridad Nuclear).
[473] La importación de desechos radioactivos hacia el territorio de la República Checa está prohibido, excepto la reimportación de fuentes de radiación ionizante producida en la República Checa o desechos radioactivos originados a partir de sustancias exportadas desde la República Checa, para el propósito de su procesamiento o reprocesamiento, cuando ha sido aprobado por la SÚJB, de acuerdo al artículo 5 (2) de la Ley de Energía Nuclear.
[474] Federación Suiza. Asamblea Federal. *Op. Cit*. Sección 4.j. Particularmente, se refiere a la exportación, importación, tránsito y fletamento de material nuclear.
[475] Federación suiza. Consejo Federal. *Op. Cit*. Artículo 13.a).

Como ya vimos, en el Derecho Comparado la importación de sustancias nucleares es siempre licenciada por un organismo especial y por medio de un procedimiento especial, existiendo plena concordancia en todas las legislaciones analizadas. Existen no obstante ciertos resguardos especiales, como en el caso de la República Checa, donde se otorgan licencias distintas para importación, exportación, tránsito, y reimportación.

Sobre este punto no hay referencias especiales en la legislación chilena. Existe, en cambio, una referencia general en el artículo 4° de la Ley de Seguridad Nuclear, donde el ingreso de materiales nucleares al territorio nacional requiere de un permiso especial, a saber, el permiso de la CCHEN.

En el mismo sentido, el artículo 1° inciso segundo de la Ley de Transporte Seguro de Materiales Radiactivos extiende su ámbito de aplicación al transporte incidental con motivo del uso de dichos materiales, vale decir, es posible aplicar este reglamento al transporte incidental de combustibles nucleares para su uso. También es importante la referencia del artículo 111 del mismo reglamento, que dispone cómo se deberán efectuar las formalidades aduaneras en el caso de los materiales radiactivos[476].

En el mismo sentido, toda importación supone un transporte, por lo que deberá aplicarse dicho reglamento y las disposiciones correspondientes de la LBGMA y del RSEIA[477].

Finalmente, al no haber más normativa especial aplicable, cabe supletoriamente la aplicación de la Ordenanza General de Aduanas, DFL Nº 30, en todo lo que no contradiga al artículo 111 del Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radiactivos.

4.3.3. Vacíos y contradicciones en Chile materia de importación de combustibles nucleares.

En esta materia no hay regulación en Chile al respecto, existiendo sólo una aplicación de las normas de transporte y una aplicación supletoria de la Ley y Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radioactivos en cuanto a las formalidades aduaneras y la seguridad radiológica. Esto implica un vacío, ya que hay un déficit de profusión normativa que especifique claramente que las licencias son acotadas a un solo

[476] Artículo 111. Las formalidades aduaneras que entrañen el examen del contenido radiactivo de un bulto se efectuarán exclusivamente en un lugar dotado de medios adecuados de protección radiológica y en presencia de personas que estén en posesión de autorización de operador de materiales radiactivos vigente. todo bulto abierto para cumplir esas formalidades se dejará, antes de su envío al destinatario, en el mismo estado en que se hallaba antes de abrirlo.
[477] 10.ñ de la LBGMA y 3.ñ.2 y 83 del RSEIA.

transporte, y para regular mejor y más detalladamente un procedimiento. En caso contrario, estos puntos quedan entregados a la práctica y discreción de los importadores y de los servicios públicos.

4.4. El licenciamiento de las actividades de transporte

4.4.1. Del licenciamiento de las actividades de transporte en el Derecho comparado

Al analizar la experiencia comparada en materia de transporte de materiales radiactivos se aprecia un cierto grado de uniformidad en la regulación de la actividad, considerando que la movilidad de una fuente de riesgo exige adoptar, desde una óptica preventiva, un esquema de autorización y control continuo. En el mismo sentido, el transporte de mercaderías peligrosas de carácter marítimo, aéreo y terrestre ha sido objeto de diversos instrumentos internacionales con disímil grado de incorporación en las legislaciones nacionales.

La uniformidad anotada se exhibe, en términos fundamentales, en el hecho de que en todos los países examinados el transporte de materiales radiactivos es una operación que requiere licencia[478]. Sólo pueden mencionarse ciertas excepciones en razón de cantidades o pesos. Por ejemplo, en la legislación italiana, existen excepciones al licenciamiento cuando se trate de casos de transporte ocasional de material radioactivo, las que no obstan a las obligaciones de notificación respecto al inicio y término del transporte.

Las diferencias a nivel comparado surgen generalmente en lo que respecta a la autoridad licenciante, esto es, si corresponde a la misma entidad que tiene a su cargo la autorización de las instalaciones y actividades nucleares en general, o para estos efectos, entra a desempeñar ese rol otro organismo de la Administración Pública.

Así, en el caso de **Suiza,** se distingue según el tipo de transporte que se propone llevar a cabo, de manera que cuando se trate de un transporte aéreo, la autorización dependerá de la Oficina Federal de Aviación Civil; y si se trata de transporte terrestre (carretero, ferroviario), la responsabilidad corresponde al Departamento Federal de Ambiente, Transporte, Energía y Comunicaciones[479].

---

[478] Sólo pueden mencionarse ciertas exclusiones en razón de cantidades o pesos, por ejemplo, en la legislación italiana, cuando se trate de casos de transporte ocasional de material radioactivo, aunque si se establecen obligaciones de notificación respecto al inicio y término del transporte.

[479] OCDE, *Nuclear Legislation in OECD Countries, Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*, Switzerland, 2003, pp. 21-22. Disponible en: http://www.nea.fr/html/law/legislation/switzerland.pdf.

Por su parte, en el caso de **Italia**, el transporte de materiales fisibles, en cualquier cantidad, y de materiales radioactivos, requiere por lo general de autorización otorgada por el Ministerio de Desarrollo Económico, en conjunto con el Ministerio de Infraestructura y Transportes.

En otro aspecto, algunos de los países revisados, reconocen la posibilidad de obtener una licencia genérica, primando, en cualquier caso, el licenciamiento respecto de cada operación de transporte en particular.

Así, el artículo 4(4) de la Ley de Energía Atómica de la República Federal de **Alemania**, expresa que la licencia se otorgará para cada transporte en particular, pero existe la posibilidad de otorgar una licencia general por un período que no exceda de tres años. **Bélgica**, por su parte, contempla en su normativa la posibilidad de que la Agencia Federal de Control Nuclear otorgue una licencia genérica cuando la empresa se dedique habitualmente a esta actividad[480]. En **Suecia**, la licencia para el transporte de combustible nuclear gastado o de desechos nucleares no podrá otorgarse por más de tres años[481].

Además, todas las legislaciones extranjeras examinadas contemplan un régimen de notificaciones y registros, que permiten un control permanente del tráfico de estos materiales peligrosos. En la normativa francesa, la Autoridad de Seguridad Nuclear debe recibir las notificaciones relativas al transporte de sustancias radiactivas, correspondiéndole la fiscalización en esta materia[482].

En **Holanda**, quienes transporten minerales o materiales fisibles, están obligados a llevar contabilidad completa y dar aviso para efectos del registro que lleva el Ministerio de Asuntos Económicos. Igualmente, **España** contempla un régimen de declaración e inscripción en un registro que lleva la Dirección General de Política Energética y Minas.

Cabe considerar que algunas de estas legislaciones regulan especialmente los embalajes o contenedores en los cuales se efectuará el transporte. Así, la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear de la **República Checa** ha homologado los embalajes que pueden ser utilizados; en España, corresponde a la Dirección General de Política Energética y Minas, previo informe preceptivo y vinculante del Consejo de Seguridad Nuclear, la aprobación o convalidación de modelos de bultos para el transporte de materiales o de fuentes radiactivas de forma especial, cuando así sea requerido por la reglamentación específica en materia de transporte de mercancías peligrosas. En

480 Morales, Antonio, *La Regulación Nuclear Globalizada*, La Ley, Madrid, 2009, p*. 304.*
481 Artículo 7 de la Ley sobre Actividades Nucleares.
482 Artículos 4 Nº 2 y 35 de la Ley sobre Transparencia y Seguridad en Materia de Seguridad Nuclear.

Canadá, otro tanto puede decirse de su Comisión de Seguridad Nuclear, en relación a las regulaciones de embalaje y transporte de sustancias nucleares.

Varias de las autoridades competentes en las legislaciones examinadas, no sólo tienen la potestad de expedir licencias o autorizaciones en relación al transporte de material nuclear; de acuerdo a sus leyes orgánicas, también pueden dictar reglamentos y normas de seguridad y protección en la materia. Tal es el caso de la Comisión Nacional de Energía Nuclear de **Brasil**, como lo establece la Ley de Política de Energía Nuclear Nacional[483]; de la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear de la **República Checa**; En **Suecia**, de la Autoridad para la Seguridad Radiológica y de la Dirección General de Política Energética y Minas, en **España**, entre otros.

Por otro lado, en **Estados Unidos**, le corresponde a la Comisión de Regulación Nuclear la autorización de actividades de transporte de sustancias radiactivas, mientras que la competencia para el establecimiento de normas de seguridad, está compartida con el Departamento de Transporte que se encarga de establecer las condiciones de carga de cargas más tratándose de cantidades pequeñas, y aquellos requeridos para la importación y exportación de dichos materiales.

Finalmente, en lo que respecta a los requisitos exigidos para otorgar la licencia para efectuar operaciones de transporte de materiales radiactivos, en **Alemania**, la Ley de Energía Atómica requiere que no existan dudas respecto a la confiabilidad del solicitante de la licencia y del transportista; que se asegure que el transporte será efectuado por personas que poseen el conocimiento necesario de los posibles riesgos radiológicos y de las medidas de protección que deben aplicarse al transporte de combustible nuclear; que se haya proporcionado la necesaria seguridad financiera para cubrir la responsabilidad civil por compensación de daños; que se haya adoptado la protección necesaria contra acciones perjudiciales u otras injerencias de terceros, y que la elección de la modalidad, tiempo y ruta de transporte no entre en conflicto con intereses públicos superiores, entre otros requisitos[484].

En el caso de la **República Checa**, se requiere que se asegure que el destinatario está autorizado a manejar sustancias nucleares o fuentes de radiación ionizante de acuerdo a las reglas establecidas en la ley, y que los embalajes están homologados por la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear.

En resumen, en el concierto internacional hemos detectado que en todos los países analizados, en materia de licenciamiento se requiere de una licencia especial para el transporte. Esta licencia es generalmente otorgada por un organismo técnico especializado, que suele ser el mismo que autoriza la instalación de una planta nuclear

[483] Conforme las modificaciones introducidas por la Ley N° 7.735 de 1989
[484] Artículo 4 y siguientes de la Ley de Energía Atómica.

de generación de energía de potencia. Sin embargo, a veces intervienen otros organismos según tipo de transporte.

En todos los casos hay una notificación y un registro de transportistas.

Generalmente la licencia es por una operación de transporte acotada. Excepcionalmente esta licencia es genérica, pero dentro de un plazo limitado, como podría ser el caso de un giro de transportista de materiales radiactivos.

4.4.2. Licenciamiento del transporte de sustancias radioactivas en Chile

El transporte de materiales radiactivos está especialmente regulado en los artículos 1°, 4°, 8°, 9°, y 10° de la Ley Nº 18.302 de Seguridad Nuclear, artículo 10.ñ de la LBGMA, los artículos 3.ñ.2 y 83 del RSEIA, y en el Decreto 12 de 1985, del Ministerio de Minería, que aprueba el Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radiactivos.

En esta materia, encontramos una regulación específica y bastante prolija, principalmente a propósito del Reglamento sobre Transporte Seguro de Materiales Radioactivos. El permiso que autoriza el transporte de materiales radiactivos debe ser otorgado por la CCHEN conforme al artículo 4° de la Ley de Seguridad Nuclear. Es decir, en este caso se cumple con los requisitos básicos[485] de existir un organismo especializado que autoriza el transporte, un procedimiento especial, y una autorización específica.

Igualmente, este tipo de transporte, en razón de su particular riesgo ambiental, es una de las actividades que deben ingresar al SEIA, conforme al artículo 10.ñ de la LBGMA[486] y los artículos 3.ñ.2 y 83 del RSEIA[487] / [488]. Es decir, además de contar con

[485] World Nuclear Trasnport Institute. Regulaciones de seguridad que rigen el trasporte de material radiactivo. [en línea] <http://www.wnti.co.uk/UserFiles/File/public/publications/factsheets/wnti_fs-1_spanish.pdf> p. 4.

[486] Artículo 10. Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, son los siguientes: ñ) Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas.

[487] Artículo 3. Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, son los siguientes: ñ) Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas. Se entenderá que estos proyectos o actividades son habituales cuando se trate de: ñ.2. Producción, almacenamiento, disposición o reutilización de sustancias radiactivas en forma de fuentes no selladas o fuentes selladas de material dispersable, en cantidades superiores a los límites A2 del D.S. Nº12/85, del Ministerio de Minería, o superiores a 5000 A1 para el caso de fuentes selladas no dispersables, y que se realice durante un semestre o más.

la calificación de la CCHEN, se requiere de una RCA, detentando así el permiso de la CCHEN la calidad de un permiso ambiental sectorial (PAS) dentro de dicho sistema, debiendo coexistir perfectamente con otros permisos ambientales sectoriales que pudieren requerirse.

De modo particular, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radioactivos, la autorización es específica para cada transporte, que se consuma con la ejecución del servicio, ya fuere el transporte por mar, aire, o tierra. También se incluye el transporte incidental propio del uso de materiales radiactivos[489].

El mismo reglamento también se ocupa de tratar las notificaciones en caso de transporte de sustancias radioactivas en el párrafo 5° del título IV. Allí se establecen las formalidades y procedimientos necesarios, particularmente en el caso de transporte internacional, estableciéndose la obligación de notificación previa por parte del remitente a las autoridades extranjeras competentes de los países a través de los cuales o al cual se transporta la remesa[490].

Así, este reglamento básicamente se encarga además de establecer normas técnicas se seguridad del bulto transportado, diferenciando entre materiales de Baja Actividad Específica (BAE) propiamente tales[491], materiales de BAE que contengan material fisible[492], materiales radiactivos propiamente tales[493], y materiales radiactivos de

[488] Artículo 83. En el permiso para el transporte de materiales radiactivos en todas las modalidades de transporte por vía terrestre, acuática o aérea, mientras tales materiales radiactivos no formen parte integrante del medio de transporte, a que se refiere el artículo 1 del D.S. 12/85 del Ministerio de Minería, que aprueba Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos, los requisitos para su otorgamiento y los contenidos técnicos y formales necesarios para acreditar su cumplimiento, serán los que se señalan en el presente artículo. En el Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, según sea el caso, se deberán señalar las medidas que permitan evitar, durante el transporte, la contaminación por material radiactivo.

[489] Artículo 1°

[490] Artículo 85.- el remitente notificará cada expedición comprendida en las letras a), b) o c) del presente artículo, a la autoridad competente de cada uno de los países a través de los cuales o al cual se va a transportar la remesa. esta notificación deberá obrar en poder de cada una de las autoridades competentes comprendidas, antes de que se inicie la expedición y, de preferencia, con una antelación mínima de 7 días.

[491] Los que a su vez se clasifican en categoría i, ii, y iii conforme al artículo 4°.25 del reglamento de transporte seguro de materiales radioactivos.

[492] los materiales bae que sean o contengan sustancias fisionables, deberán cumplir con los requisitos de los artículos 107, 108 y 171.

[493] Artículo 4°.26. son materiales radiactivos: todo material cuya actividad especifica sea superior a 70 kbq/(2 nci/g).

forma especial[494], estableciendo requisitos específicos para su remisión, transporte, y recepción.

4.4.3. Vacíos y contradicciones en materia de transporte

En razón de lo que ocurre en el concierto comparado, Chile cumple con los caracteres generales más recurrentes, a saber:

- En nuestro país se requiere de una licencia especial para el transporte de sustancias radioactivas.
- La licencia es otorgada por un organismo técnico especializado, la CCHEN en este caso, mismo organismo que a su vez es el encargado del licenciamiento de plantas de energía nuclear de potencia.
- También interviene un organismo distinto, en este caso la CONAMA o COREMA ya que el transporte de material radiactivo es causal de ingreso al SEIA, en razón de consideraciones medioambientales.
- Están debidamente tratadas las notificaciones.
- La operación es acotada en el tiempo.

[494] Así, este tratamiento diferenciado se puede apreciar en las condiciones de remesa del reglamento de transporte seguro. así véase por ejemplo el artículo 76.- en los documentos de transporte correspondientes a cada remesa, el remitente consignará la siguiente información, según proceda, en el orden indicado: a) el nombre correcto de expedición b) el número "7" de la clasificación de las Naciones Unidas; c) las palabras "materiales radiactivos", a menos que dichas palabras figuren en el nombre correcto de expedición; d) el número de serie de las naciones unidas asignado al material; e) si se trata de materiales bae, el grupo de siglas "bae-i", "bae-ii" o "bae-iii", según proceda; f) si se trata de ocs, el grupo de siglas "ocs-i" u "ocs-ii, según proceda; g) el nombre o símbolo de cada radionucleido; h) una descripción de la forma física y química de los materiales, o una indicación de que los materiales son materiales radiactivos en forma especial. para la forma química es aceptable una descripción química genérica; i) la actividad máxima del contenido radiactivo durante el transporte expresada en bequerel (bq), o en curies (ci), con el prefijo apropiado del sistema internacional de unidades. si se trata de sustancias fisionables, puede utilizarse, en lugar de la actividad, la masa de las sustancias fisionables, en gramos, o en sus múltiplos adecuados; j) la categoría del bulto, es decir: i-blanca, ii-amarilla, iii-amarilla; k) el indice de transporte (sólo en el caso de las categorías ii-amarilla y iii-amarilla); l) todas las partidas y materiales transportados conforme con las disposiciones relativas a bultos exceptuados, se describirán en el documento de transporte como "materiales radiactivos - bulto exceptuado", y deberá incluirse el nombre adecuado de expedición de la sustancia o artículo que se transporte tomado de la lista de números de naciones unidas; m) si se trata de una remesa de sustancias fisionables exceptuadas en virtud del artículo 172, las palabras "fisionables exceptuado"; n) la marca de identificación correspondiente a cada certificado de aprobación de la autoridad competente (materiales radiactivos en forma especial, arreglos especiales, diseño del bulto, o expedicion) aplicable a la remesa; o) si se trata de remesas de bultos en un sobreenvase o contenedor, una exposición detallada del contenido de cada bulto incluido en el interior del sobreenvase o contenedor y, según proceda, de cada sobreenvase o contenedor de la remesa. si los bultos se van a extraer del sobreenvase o contenedor en un punto de descarga intermedio, deberá disponerse la documentación de transporte adecuada.

En razón de lo anterior, es posible aseverar que la actual legislación chilena es suficiente en este ámbito, mas ésta requerirá de adecuaciones en caso que hubiere reformas legales orgánicas futuras para poder adecuar la normativa existente a los eventuales nuevos organismos que se originen.

4.5. Del licenciamiento del emplazamiento y construcción de una planta de generación de energía nuclear

4.5.1. En el Derecho Comparado

4.5.1.1. Consideraciones previas al examen comparado

La concesión de licencias o autorizaciones corresponde a uno de los elementos esenciales en el derecho nuclear. Constituye, como veremos, tanto una exigencia contenida en la Convención sobre Seguridad Nuclear[495] como uno de los elementos que se deben considerar para el diseño del marco legislativo y reglamentario de aquellos países que pretendan desarrollar la utilización de energía nuclear para fines pacíficos, en este caso, para la generación de energía núcleo-eléctrica.

La autorización como requisito necesario para desarrollar una actividad constituye un mecanismo excepcional —la regla general respecto de cualquier actividad es que se realice libremente, sin control estatal previo—, que permite asegurar un mayor y más estricto control en el cumplimiento de las exigencias relacionadas con la seguridad nuclear, física y la protección en general de la salud de la población y el medio ambiente. Permite, en definitiva, que el Estado mantenga y asegure el control sobre el desarrollo de estas actividades especialmente riesgosas.

Su fundamento no es otro que controlar el riesgo que representa su desarrollo, reservándose el Estado el derecho de permitir o no su ejecución, en la medida que los beneficios superen los potenciales riesgos o daños que representan. Por ello, entre mayores riesgos representa para la sociedad el desarrollo de una actividad, más estrictas serán las exigencias y el control sobre ellas. Esto se ve reflejado, en las formas, procedimientos y controles que está forzada a cumplir.

Este principio es particularmente relevante para el caso de la aprobación de la fase de construcción, ya que junto con las actividades propias de dicha etapa, se decide un aspecto incluso más crítico: *la localización o emplazamiento de la instalación nuclear*. Este aspecto es central para la viabilidad técnica, ambiental y especialmente de

[495] En todos los organismos se solicita la opinión de los Estados afectados, y los organismos públicos que detentan competencia en la materia, sin que sus pronunciamientos sean en general vinculantes. Situación diferente ocurre en Finlandia, donde la anuencia del Municipio corresponde un requisito previo y necesario para su aprobación.

seguridad de estas instalaciones. Es por ello que existen legislaciones que disponen la autorización separada de la localización o emplazamiento de la instalación, y sólo después se presentan los antecedentes asociados a su construcción.

Esta fase es particularmente relevante, además, por cuanto se deben desarrollar todos los estudios y evaluar los impactos ambientales más relevantes. En definitiva, se deberán identificar todos los elementos críticos que permitan establecer la viabilidad del proyecto.

Por estas mismas circunstancias, las regulaciones sobre la materia han incorporado, además de los controles y exigencias dirigidos al proyecto, procesos de participación pública e información respecto de los alcances y riesgos que representa el proyecto sobre la comunidad afectada. Es posible percibir de manera creciente la necesidad de lograr altos niveles de transparencia, participación y consenso en la necesidad y beneficios que representa el desarrollo de la utilización de la energía núcleo-eléctrica. Todo ello, como se verá, se encuentra plasmado en las legislaciones de los países que fueron analizados en este informe.

En el presente acápite se pretende analizar los aspectos más relevantes asociados a los modelos de autorización existentes en la legislación comparada, de modo que sirvan de insumo para el análisis de los potenciales vacíos y antinomias existentes en la legislación chilena, lo que permitirá, a su turno, preparar las propuestas normativas sobre la materia.

A continuación, se describirán los aspectos que han sido identificados como comunes a todos los modelos de autorización de emplazamiento y construcción de instalaciones nucleares. Debe notarse que en varios de los elementos relevantes en materia de autorización de emplazamiento y/o construcción de instalaciones nucleares, existe un alto grado de consenso regulatorio. Junto con dichos elementos comunes se describirá también aquellos elementos diferenciadores en el proceso de autorización, intentando identificarse los fundamentos que los expliquen.

4.5.1.2. Elementos comunes a todos los modelos examinados

Todos los organismos analizados en los países seleccionados tienen un sistema de autorización para la construcción de instalaciones nucleares, los cuales responden, además, a un modelo en el que se imponen exigencias estrictas para su otorgamiento, debiendo cumplirse con amplios procesos de participación e información a la comunidad. Ello, además, incorpora la obligación de considerar y evaluar los impactos ambientales que genera sobre el entorno.

Es decir, se reconoce en todos los modelos analizados que la autorización del emplazamiento y construcción constituye uno de los elementos críticos en el proceso de licenciamiento de dichas instalaciones. Es precisamente en esta etapa donde se debe asegurar que las instalaciones cumplan con estándares de seguridad de modo que se prevengan los posibles daños, y se adopten todas las medidas para minimizarlas, lo que en muchos aspectos se encuentra determinado por su localización y condiciones en su construcción.

Lo anterior se ve reflejado en los siguientes elementos comunes:

- El licenciamiento debe cumplir con un procedimiento y estándares estrictos.
- Existe un tratamiento diferenciado de la evaluación de riesgos nucleares y de los impactos ambientales en las autorizaciones, lo que se refleja en procedimientos distintos.
- En el procedimiento de autorización se incorpora un proceso de coordinación y participación de todos aquellos actores públicos que tengan relevancia en su autorización, incluidos los gobiernos locales.[496]
- Se tiende a centralizar las labores de licenciamiento en los organismos a los que se les encomienda la misión de control y regulación en materia de seguridad nuclear [497]. A los restantes organismos se les incorpora en aquellas materias en las que tienen competencias específicas, pero la tuición final se encuentra radicada en el organismo regulador nuclear. Ello se ve reflejado en prácticamente todos los países, ya que lo habitual es entregar al organismo encargado del control y fiscalización la tarea de dirigir el procedimiento y autorización de la construcción de instalaciones nucleares. Un caso excepcional ocurre para el caso de **Finlandia[498] y Brasil**, donde la autorización finalmente es ratificada por el Parlamento. En el caso de **España**, si bien el proceso es administrado por la entidad reguladora nuclear, la autorización está entregada al Gobierno central.
- Se considera un proceso amplio de información y participación pública. Este elemento corresponde a una tendencia que crecientemente se impone como

[496] En todos los organismos se solicita la opinión de los Estados afectados, y los organismos públicos que detentan competencia en la materia, sin que sus pronunciamientos sean en general vinculantes. Situación diferente ocurre en Finlandia, donde la anuencia del Municipio corresponde un requisito previo y necesario para su aprobación.

[497] Ello se ve reflejado en prácticamente todos los países, donde se le entrega al organismo encargado del control y fiscalización la tarea de dirigir el procedimiento y autorización la construcción de instalaciones nucleares. Un caso excepcional ocurre para el caso de Finlandia y Brasil, donde la autorización finalmente se radica en el Parlamento. En el caso de España, si bien el proceso es administrado por la entidad reguladora nuclear, la autorización está entregada al Gobierno central.

[498] En Finlandia, el Parlamento debe otorgar su aprobación para la denominada "decisión en principio", sin embargo, la licencia de construcción propiamente tal la otorga el Ministerio de Comercio e Industria (KTM), previo informe del órgano regulador STUK

requisito para la aprobación de la construcción de las instalaciones nucleares. En el caso por ejemplo de **Francia**, se dictó recientemente la Ley sobre Transparencia y Seguridad Nuclear, donde se regula la forma y condiciones que este proceso debe llevarse a cabo[499] Por lo general, estos procesos se efectúan mediante la apertura de una audiencia pública donde cualquier interesado puede presentar sus observaciones o dudas respecto del proyecto. Lo anterior va acompañado de un amplio proceso de información a la comunidad respecto de las características y riesgos que representa el desarrollo del proyecto.

- Es otorgado por las más altas autoridades en materia de regulación nuclear. En ciertas regulaciones deben ser además ratificados por el Parlamento, como ocurre en el caso de Brasil y Finlandia.
- Las decisiones en relación con la autorización de instalaciones nucleares de mayor impacto siempre se encuentran radicadas en organismos centralizados[500]. Es decir, se puede advertir una tendencia a resolver estos asuntos como una materia de interés nacional, radicando el órgano rector en entidades nacionales, y por ello, mismo centralizados. Esto se puede apreciar incluso en países con modelos federales, tales como **EE.UU.** o **Brasil.**
- Se contemplan sistemas de impugnación ante los tribunales de justicia.
- Se deben cumplir con estándares y normas ambientales aplicables. Por regla general se debe obtener la aprobación ambiental de la instalación nuclear, como se puede apreciar con claridad en el caso de **Brasil** cuyo órgano ambiental ejerce en forma paralela al licenciamiento nuclear sus facultades sobre la materia.
- En el proceso de autorización participa un organismo técnicamente preparado e institucionalmente independiente, el que por regla general es el encargado de la regulación y fiscalización en materia de seguridad tecnológica.
- En todos los procedimientos analizados, el Estado tiene una participación reactiva. Es decir, el Estado, a través de los organismos encargados de la seguridad nuclear, los que además corresponden a entidades independientes debe analizar y evaluar las presentaciones o solicitudes presentadas.
- No se han podido identificar procesos en los que sea el Estado, a través de sus organismos públicos, el que proponga y autorice los lugares. Esta situación se aplica incluso en países donde el desarrollo de la energía nuclear es desarrollado por el Estado a través de empresas públicas, como es el caso de **Brasil y Argentina.**

[499] Se dictó recientemente sobre la materia una "Ley sobre Transparencia y Seguridad en Materia Nuclear". En este cuerpo legal, por ejemplo, se establece la obligación de conformar una comisión local de información, el que desarrollará las acciones de seguimiento e información.

[500] Esto se puede reflejar incluso en países Federales, donde la entidad regulatoria es centralizada y tiene las potestades generales sobre el control y regulación de la energía nuclear. Caso paradigmático corresponde a EE.UU., radicado en la Comisión de Regulación Nuclear, agencia dotada de personalidad jurídica propia.

- En este sentido, la IAEA sugiere que las autorizaciones se efectúen precisamente de esta forma, de modo que el Estado evalúe las solicitudes o presentaciones, de manera que pueda, con entera libertad, considerar o rechazar las solicitudes. Ello se aplica y no existen diferencias en aquellos países en los que la participación en la explotación se efectúa mediante empresas estatales.
- En la medida que existan elementos que funden dicha decisión, se mantiene la facultad de revocar o modificar la autorización[501].

4.5.1.3. Elementos diferenciadores de todos los modelos examinados

Por su parte, las diferencias que se pueden detectar en la forma y condiciones en la autorización son las siguientes:

- **Autorización conjunta o separada del emplazamiento y actividades constructivas.** En el Derecho Comparado se han seguido modelos como el de triple-licenciamiento, lo que significa que se otorga una licencia para emplazar y construir, luego otra para explotar y una tercera, diferente, para cerrar el reactor de potencia. De la legislación revisada, la gran mayoría otorga la autorización de la fase de construcción y considera, en el mismo proceso y por defecto, el emplazamiento de la instalación nuclear. En esta situación se encuentran **Inglaterra, Francia, Finlandia**, entre otros. Sin embargo, existen casos en los que, en forma previa, se exige la autorización del emplazamiento y, sólo posteriormente, se permite solicitar la construcción de la instalación. En estos casos, se dispone previamente de modelos previos de instalaciones nucleares, lo que permite predecir los potenciales impactos del reactor. Adicionalmente, el desarrollo del proceso de evaluación ambiental se desarrolla principalmente en esta etapa. Ello ocurre en el caso de **Canadá, España y Brasil.** En este último caso, además, requiere autorización legislativa, conforme se desprende del art. 225 de la Constitución Federal de Brasil.
- **Autorización conjunta o separada de la fase de operación.** Por otra parte, del análisis de la legislación revisada se pudo observar que existen modelos donde se evalúa en forma conjunta la fase de construcción y de operación, permitiendo el desarrollo integral del proyecto. Un caso especial corresponde a EE.UU. donde se puede optar por solicitar una autorización de la fase de construcción en forma separada de la operación, o podrá requerir la licencia de ambas fases de manera conjunta, para lo cual deberá acogerse a estatutos diferentes. Esta posibilidad se incorporó en una segunda etapa, conforme se desprende del Art. 10 CFR 51, del Código de Regulación Federal.

[501] Este corresponde a una exigencia, además, contenida en la Convención sobre Seguridad Nuclear, conforme lo dispone el artículo 7, N°2, iv).

- **Autoridad que concede la autorización.** Por regla general, el otorgamiento de la autorización de emplazamiento y/o construcción corresponde a la entidad designada para el control y regulación de la seguridad nuclear. Esto ocurre, por ejemplo, en los casos de Canadá, Estados Unidos e Inglaterra, entre otros. Sin embargo, en este punto se pueden advertir algunos casos donde se requiere la autorización del parlamento, como en Brasil y Finlandia[502], como ya lo hemos señalado, o en los cuales la decisión final es entregada al gobierno central, como en Francia y España.
- **Procedimiento y forma de evaluar los impactos ambientales.** Como se indicó, en todos los casos analizados se exige el cumplimiento de la normativa ambiental, donde se debe evaluar los impactos generados por la instalación. Existen diversas diferencias, especialmente en los siguientes aspectos:
    - Organismo encargado de evaluar los impactos ambientales: Al respecto, la regla general es que se mantienen y respetan las competencias que en general detentan los organismos ambientales. Excepcionalmente, la evaluación ambiental es entregada al organismo encargado de la seguridad nuclear, como en el caso de **Argentina**.
    - Época y forma de evaluar los impactos ambientales: Pudimos identificar que la evaluación se puede efectuar en forma previa o paralela. Además, es posible que dicho proceso se efectúe de manera paralela y separada, o bien como parte del proceso de licenciamiento general de la instalación.
- **Coordinación entre organismos públicos.** Si bien en todos los casos se disponen instancias de coordinación entre las distintas unidades políticas y administrativas del Estado —estados, provincias, municipios, etc.—, la forma, época y condiciones en que se exige la participación de cada uno de ellas es distinta en los diversos países. Con todo, es posible advertir que por regla general la opinión de estas distintas entidades es siempre requerida al momento de emitir el pronunciamiento sobre una solicitud de autorización. En aquellos países con régimen federal, se puede advertir especialmente la existencia de una particular consideración en favor de la opinión de los estados afectados. Un caso especial corresponde a **Finlandia**, donde se llega al nivel local y se exige, además, la anuencia del municipio donde se emplaza la instalación. Cabe señalar que no existen patrones que puedan explicar de manera clara e inequívoca las diferencias detectadas: ni el porcentaje de generación nuclear en el sistema eléctrico, ni el modelo político-institucional (unitario/federal), ni la participación del estado o privado en la generación núcleo-eléctrica. Más bien, lo que se puede inferir es que todas las legislaciones

[502] Veremos en el licenciamiento de la operación y desmantelamiento, la modalidad de "decisión in principle" presente en Finlandia.

analizadas responden y tienden a desarrollarse bajo elementos comunes que se asemejan, los que están destinados a asegurar altos niveles de seguridad, certeza, transparencia, confiabilidad y participación.

4.5.1.4. Síntesis de la autorización y emplazamiento en el Derecho Comparado

El examen de la legislación nuclear a nivel comparado demuestra que uno de los aspectos críticos para el desarrollo de proyectos de generación núcleo-eléctrica es la localización o emplazamiento de la instalación nuclear, en cuanto es central para determinar la viabilidad técnica, ambiental y de seguridad de estas instalaciones. Las regulaciones sobre la materia han incorporado importantes procesos de participación pública e información respecto de los alcances y riesgos que representa una iniciativa de estas características sobre la comunidad afectada.

A partir del análisis de los modelos de autorización existentes en aquellos países que consideran la opción nuclear, se identificaron elementos comunes y diferenciadores en materia de autorización de emplazamiento de instalaciones nucleares.

Entre los elementos comunes, se identificó la existencia de sistemas de autorización que cuentan con procedimientos y estándares estrictos, que incorporan mecanismos de coordinación y participación de todos los actores públicos que se encuentren vinculados a la autorización, incluidos los gobiernos locales. Todos se caracterizan por contar con participación pública (por lo general, mediante la apertura de una audiencia pública) y transparencia en la adopción de la decisión del emplazamiento de la planta.

Asimismo, se observó una tendencia a centralizar el licenciamiento en los organismos técnicos e institucionalmente independientes, que cuentan con competencias en materia de control y regulación de seguridad nuclear a nivel nacional. La decisión se entrega siempre a organismos a nivel central, incluso en países federales. Además, en la legislación comparada se contemplan sistemas de impugnación ante los tribunales de justicia en caso de de denegarse, modificarse o revocarse la autorización.

Todos los países contemplan la obligación de cumplir con estándares y normas ambientales, exigiéndose aprobación ambiental de la instalación nuclear.

Adicionalmente, en todos los procedimientos analizados, el Estado tiene una participación reactiva, a través de sus organismos competentes y autónomos, aún cuando los proyectos sean propuestos por empresas o entidades públicas.

Finalmente, como manifestación del principio de control continuo[503], la autorización siempre es modificable o revocable.

Por otra parte, se identificaron en esta materia elementos diferenciadores en el estudio de la legislación comparada. Si bien la mayoría autoriza el emplazamiento dentro de la fase de construcción (*modelo de triple-licenciamiento*)[504] otros lo hacen en forma previa, autorizando posteriormente la construcción. La evaluación de impacto ambiental se desarrolla principalmente en esta etapa[505].

En relación a los casos excepcionales en que la autoridad que concede la autorización no corresponda al organismo técnico en materia de seguridad nuclear, en el derecho comparado se encuentran los casos de Brasil y Finlandia, donde la decisión recae en el Parlamento, y de España, donde corresponde al gobierno central.

En materia de procedimiento de evaluación de impacto ambiental, por regla general, se mantienen las competencias de los organismos ambientales, ya que se lo que hacen los organismos nucleares especializados es evaluar riesgos, mientras que la autoridad ambiental evalúa impactos ambientales.

4.5.2. Regulación chilena sobre el emplazamiento y construcción de una central nuclear de potencia

En la legislación chilena, la norma básica en relación a la autorización de emplazamiento de una instalación nuclear es el artículo 4 de la Ley Nº 18.302, de Seguridad Nuclear. Esa disposición expresa que "*Para el emplazamiento* (…) *de las instalaciones, plantas, centros, laboratorios, establecimientos y equipos nucleares* (…) *se necesitará autorización de la Comisión, con las formalidades y en las condiciones que se determinan en esta ley y en sus reglamentos*". Es decir, por regla general, el emplazamiento de una instalación nuclear requiere autorización del Consejo Directivo de la Comisión Chilena de Energía Nuclear[506].

Ahora bien, el mismo artículo 4 especifica que, **tratándose de centrales nucleares de potencia**, plantas de enriquecimiento, plantas de reprocesamiento y depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos, la autorización será mediante decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía.

---

503 Stoiber, C. et. al., "*Manual de Derecho Nuclear*", Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2006, p. 8.
504 Inglaterra, Francia y Finlandia.
505 Canadá, España y Brasil.
506 Conforme al artículo 1º de la Ley Nº 16.319, que Crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear, se trata de "*un organismo de Administración Autónoma del Estado*" y que "*se relacionará con el Gobierno por intermedio del Ministerio de Energía*".

Por lo tanto como primera conclusión, podemos afirmar en primer lugar que **nuestro ordenamiento prevé la posibilidad de licenciamiento de una central nuclear de potencia**, y que tal como en la mayor parte del derecho comparado, en nuestro país, en el otorgamiento de esta autorización interviene un organismo técnico, de naturaleza autónoma, con competencia en materia de seguridad nuclear. Sin embargo, quien finalmente autoriza y en quien recae la decisión, es el Ejecutivo, puesto que se refiere a la dictación de un decreto supremo.

4.5.2.1. Emplazamiento o localización

En relación al **emplazamiento o localización**, más allá de la licencia otorgada por el organismo técnico competente de acuerdo a la legislación nuclear, en la medida que las centrales nucleares de potencia deban someterse a la actual legislación urbanística[507], podrían plantearse diversas alternativas que se analizan a continuación, considerando que este tipo de instalaciones son consideradas como "infraestructura energética", concepto que, de acuerdo al artículo 2.1.29 de la OGUC, comprende a las "centrales de generación o distribución de energía", entre otras.

Al efecto, debemos distinguir tres hipótesis, (**4.5.2.1.1.**) la de una central ubicada en área rural no regulada por un instrumento de planificación territorial, (**4.5.2.1.2**.) la de una central ubicada en área regulada por un plan intercomunal o metropolitano y (**4.5.2.1.3**.) localización en área urbana.

4.5.2.1.1. Localización en área rural no regulada por un instrumento de planificación territorial

La DDU del Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha expresado mediante una circular de abril de 2009, en relación al emplazamiento de instalaciones o edificaciones de infraestructura energética que "*En las áreas rurales no reguladas por un Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano (éstas) deberán sujetarse a las disposiciones del artículo 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones y corresponderán a equipamiento en los casos que no contemplen procesos productivos, si los contemplaren se considerarán como industria*"[508].

Esta interpretación de la DDU implicaría que, en este caso de falta de un instrumento de planificación territorial, para una central en área rural, resultaría aplicable lo

[507] Conformada por la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), su Ordenanza (OGUC), los instrumentos de planificación territorial respectivos, y las circulares emanadas de la División de Desarrollo Urbano (DDU) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
[508] Circular Ord. Nº 295, de 29 de abril de 2009, de la DDU del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

dispuesto en el inciso cuarto del artículo 55 de la LGUC, que señala que "*las construcciones industriales, de equipamiento, turismo y poblaciones, fuera de los límites urbanos, requerirán previamente a la aprobación correspondiente de la Dirección de Obras Municipales, del informe favorable de la Secretaría Regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y del Servicio Agrícola que corresponda".*

Es decir, para el efecto de someter a las centrales de generación eléctrica emplazadas en área rural al cambio de uso de suelo, se asimila la infraestructura energética a equipamiento (en la medida que no contemple un proceso productivo), atendido el tenor del artículo 55, que sólo se refiere a "*construcciones industriales, de equipamiento, turismo y poblaciones*".

En consecuencia, para su emplazamiento, se requiere informe favorable de la SEREMI de Vivienda y Urbanismo y del SAG.

4.5.2.1.2. Localización en área rural regulada por un Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano.

En este caso, de acuerdo con el inciso 4º del artículo 2.1.29 de la OGUC, el que fue modificado en abril de 2009, *"en el área rural de los planes reguladores intercomunales o metropolitanos, dichas instalaciones o edificaciones (infraestructura energética) estarán siempre admitidas y se sujetarán a las disposiciones que establezcan los organismos competentes, sin perjuicio del cumplimiento de la Ley 19.300 y de lo dispuesto en el artículo 55 de la LGUC."*

4.5.2.1.3. Localización al interior del límite urbano.

En este punto, la DDU expresa que "*al instrumento de planificación territorial respectivo le corresponderá determinar, -en las áreas al interior del límite urbano-, las normas urbanísticas que regulen el emplazamiento de las instalaciones o edificaciones necesarias para este tipo de suelo*"[509].

Es decir, el emplazamiento de una central nuclear de potencia, al interior del límite urbano, dependerá de lo que establezca el instrumento de planificación territorial respectivo. Será necesario, entonces, examinar el respectivo plan regulador para determinar la compatibilidad territorial del proyecto.

Por otra parte, es menester señalar que puede ser aplicable a estas centrales la calificación industrial contemplada en el artículo 4.14.2 de la OGUC, por cuanto el artículo 2.1.29 de la misma Ordenanza señala que "*Las instalaciones o edificaciones de*

[509] Circular Ord. Nº 295, de 29 de abril de 2009, de la DDU del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

este tipo de uso que contemplen un proceso de transformación deberán ser calificadas por la Secretaría Regional Ministerial de Salud, de conformidad a lo preceptuado en el artículo 4.14.2 de esta Ordenanza".

Finalmente, cabe considerar que este tipo de infraestructura energética, en principio, no requiere el permiso de edificación que otorga la Dirección de Obras Municipales. No obstante, la DDU del Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha aclarado que "*Lo señalado se aplicará siempre que la infraestructura no se emplace al interior de un edificio, puesto que si así fuere, corresponderá solicitar a la Dirección de Obras Municipales el permiso respectivo por las edificaciones que se proyecten*"[510].

En resumen, en el marco de la actual legislación urbanística, cabrá distinguir el lugar donde se pretende emplazar la planta núcleo-eléctrica, siendo aplicable el permiso de cambio de uso de suelo, en área rural, o correspondiendo ceñirse al respectivo plan regulador, en área urbana, sin perjuicio de que el proyecto esté sometido además a calificación industrial, por parte de la Autoridad Sanitaria, y al otorgamiento de un permiso de edificación por parte de la Dirección de Obras Municipales respectiva. Lo anterior, sin perjuicio de las adecuaciones normativas que se plantean más adelante.

4.5.2.2. Necesidad de Resolución de Calificación Ambiental

En lo que respecta a la autorización ambiental, es interesante notar que el artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear, de 1984, expresa que, para el otorgamiento de la autorización de emplazamiento, "*deberán considerarse, en todo caso, las condiciones que permiten preservar un medio ambiente libre de contaminación*". Vinculado a ello, la Ley Nº 19.300, sobre LGBMA, promulgada 10 años más tarde que la Ley de Seguridad Nuclear, señala que, entre los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental en cualesquiera de sus fases que deberán someterse al SEIA, se encuentran los "*reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas*"[511]. La evaluación ambiental debe ser previa a la ejecución o modificación de este tipo de proyectos, como lo ordena el artículo 8 de la Ley Nº 19.300.

La administración del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA) corresponde a la CONAMA, y a partir de la vigencia de la recientemente publicada la ley que modifica la institucionalidad ambiental, le corresponderá al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)[512]. La calificación del proyecto y la certificación del cumplimiento de los requisitos ambientales de los permisos que deben otorgarse dentro del SEIA, le

[510] Circular Ord. Nº 295, de 29 de abril de 2009, de la DDU del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
[511] Artículo 10 literal d) de la Ley Nº 19.300.
[512] Se trata de un servicio público funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, y sometido a la supervigilancia del Presidente de la República a través del Ministerio del Medio Ambiente (nuevo artículo 80 de la Ley Nº 19.300).

corresponde a la Comisión Regional del Medio Ambiente o al Director Ejecutivo de CONAMA, cuando el proyecto pueda causar impactos ambientales en zonas situadas en distintas regiones. En el marco de la nueva institucionalidad ambiental, el proyecto será calificado por la Comisión de Evaluación de la región respectiva o por el Director Ejecutivo del SEA, cuando corresponda[513].

Si bien la legislación ambiental se centra en la evaluación del proyecto de instalación nuclear, que debe efectuarse de manera anterior a su ejecución, entre los permisos ambientales sectoriales (PAS) que deben ser otorgados a través del SEIA se encuentra, precisamente, el permiso para el emplazamiento de instalaciones, plantas, centros laboratorios, establecimientos y equipos nucleares, y el permiso para centrales nucleares de potencia, plantas de enriquecimiento, plantas de reprocesamiento y depósitos de almacenamiento permanente de desechos calientes de larga vida, a que se refiere el artículo 4 de la Ley Nº 18.302, de Seguridad Nuclear.

Así, lo establecen los artículos 81 y 82 del D.S. Nº 95/01, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del Reglamento del SEIA. Los requisitos para el otorgamiento de estos permisos y los contenidos técnicos y formales necesarios para acreditar su cumplimiento, consisten en "*considerar las condiciones que permitan preservar el medio ambiente libre de contaminación*".

Adicionalmente, es oportuno mencionar en materia de emplazamiento que, tanto la calificación industrial del artículo 4.14.2 de la OGUC como el cambio de uso de suelo del artículo 55 de la LGUC, constituyen permisos ambientales sectoriales, que deben ser otorgados dentro del SEIA[514].

Los procedimientos administrativos de autorización en el marco de la legislación nuclear chilena no contemplan etapas de consulta pública o participación ciudadana ni de información pública. Por su parte, en la tramitación ambiental, la participación ciudadana sólo está contemplada en el caso de los Estudios de Impacto Ambiental. En el proyecto de reforma a la Ley Nº 19.300, se amplía la participación ciudadana al caso de las DIA, en el evento que el proyecto genere cargas ambientales para las comunidades próximas[515].

---

513 Esta Comisión de Evaluación, de acuerdo al nuevo artículo 86 de la Ley Nº 19.300, está presidida por el Intendente e integrada por los Secretarios Regionales Ministeriales del Medio Ambiente, de Salud, de Economía, Fomento y Reconstrucción, de Energía, de Obras Públicas, de Agricultura, de Vivienda y Urbanismo, de Transportes y Telecomunicaciones, de Minería, y de Planificación. El Director Regional del SEA actuará como Secretario.

514 Corresponden a los permisos ambientales sectoriales señalados en los artículos 94 y 96 del Reglamento del SEIA, respectivamente.

515 El nuevo artículo bis señala que "*Las Direcciones Regionales o el Director Ejecutivo, según corresponda, podrán decretar la realización de un proceso de participación ciudadana por un plazo de veinte días, en las*

En cuanto a los mecanismos de impugnación de las decisiones respecto al emplazamiento de instalaciones nucleares, cabe indicar que, en el marco de la Ley de Seguridad Nuclear, sólo se contempla la posibilidad de reclamar en contra de la resolución de la Comisión Chilena de Energía Nuclear que revoque, suspenda o modifique las licencias o autorizaciones[516].

El artículo 13 de la Ley de Seguridad Nuclear dispone que "Las licencias o autorizaciones no podrán revocarse, suspenderse ni modificarse, salvo por causa prevista en el acto de su otorgamiento o por incumplimiento de las condiciones y exigencias impuestas en ellas, en la ley o en los reglamentos". En todo caso, continua la disposición, "la resolución debe ser fundada y oportunamente notificada al titular de la autorización, el cual podrá apelar de ella en la forma establecida en los artículos 36 y siguientes.". Del mismo modo se dispone que "Las licencias o autorizaciones no podrán renunciarse anticipadamente, salvo que se otorguen, a juicio de la Comisión, los resguardos y garantías necesarias y suficientes en cuanto al cierre definitivo y demás que señale el reglamento."

Por su parte, en relación a la evaluación de impacto ambiental, la Ley Nº 19.300 contempla un régimen de recursos administrativos y jurisdiccionales, que distinguen si la calificación recayó sobre una Declaración o un Estudio de Impacto Ambiental, y si el recurrente es el proponente del proyecto o personas que formularon observaciones al Estudio de Impacto Ambiental. La reclamación judicial hoy se radica en los jueces de letras en lo civil. La nueva institucionalidad ambiental contempla que los recursos judiciales serán conocidos por un nuevo Tribunal Ambiental[517].

4.5.3. Vacíos y contradicciones detectadas

En primer lugar, cabe observar que la Ley de Seguridad Nuclear no cuenta con un reglamento que especifique las formalidades y condiciones bajo las cuales se otorgan las autorizaciones del artículo 4, incluida la de emplazamiento, ni el procedimiento para tal efecto. En efecto, el D.S. Nº 133/84, del Ministerio de Minería, sólo se refiere a

---

Declaraciones de Impacto Ambiental que se presenten a evaluación y se refieran a proyectos que generen cargas ambientales para las comunidades próximas. Todo ello, siempre que lo soliciten a lo menos dos organizaciones ciudadanas con personalidad jurídica, a través de sus representantes, o como mínimo diez personas naturales directamente afectadas". Agrega esta disposición que "*se entenderá que provocan cargas ambientales aquellos proyectos que generan beneficios sociales y que ocasionan externalidades ambientales negativas en localidades próximas durante su construcción u operación*".

[516] Este reclamo se efectúa ante la misma Comisión y contra de su decisión, procederá el recurso de apelación para ante la Corte de Apelaciones de Santiago. Así lo establece el artículo 13 inciso segundo en relación con los artículos 36 y siguientes de la Ley Nº 18.302.

[517] Actualmente, se encuentra en discusión en el Congreso Nacional el proyecto de ley que crea el Tribunal Ambiental.

la autorización de instalaciones radiactivas y no a instalaciones nucleares. Tampoco hace la diferencia entre la evaluación de riesgos nucleares de la evaluación de impactos ambientales.

Asimismo, no existe claridad en el marco de la legislación nuclear respecto a si se ha optado por un régimen de licenciamiento por etapas o uno de carácter general que abarque más de una fase o todas ellas, dado que en verdad, no se han considerado estas opciones.

El artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear considera diversas fases que se dan durante la vida de una instalación nuclear, incluyendo emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento, así como el ingreso o tránsito de sustancias nucleares o materiales radiactivos. Por otra parte, al definir 'autorización'[518], este cuerpo legal dice que la licencia o permiso es otorgado para "*ejecutar actividades específicas*". Conforme a lo indicado, cabría entender que se ha optado por un régimen de licenciamiento por etapas, que considera en forma independiente la autorización para el emplazamiento de la instalación nuclear de que se trate.

No obstante, aún cabe plantear la duda respecto a si existe igualmente un licenciamiento por etapas en el caso de las centrales nucleares de potencia, las plantas de enriquecimiento, las plantas de reprocesamiento y los depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos, cuya autorización se efectúa por decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía, aplicándose lo indicado al inicio del artículo 4 de la Ley Nº 18.302. A este respecto, respecto de estas actividades, cambia la autoridad licenciante, atendido el mayor riesgo e importancia estratégica que entrañan estas instalaciones.

Por su parte, ni la LGBMA, ni el Reglamento del SEIA, avanzan en esta materia, puesto que se limitan a reiterar lo indicado en el artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear. Tampoco aquí se clarifica si el permiso es por etapas o integral para todas las fases de la vida del proyecto. No obstante, los proyectos que son sometidos al SEIA deben necesariamente referirse a las etapas de construcción, operación y abandono, las que se evalúan ambientalmente y por ende, se incluyen en la aprobación ambiental, existiendo aquí sin duda una contradicción necesaria de aclarar y definir.

En particular, el Reglamento del SEIA, en lo que respecta a la identificación de los permisos ambientales sectoriales, se limita a reproducir la disposición citada, separándola en dos permisos indicados en sus artículos 81 y 82, pero sujetas al mismo requisito para su otorgamiento. Con ello, se ha dejado abierto un amplio ámbito de

[518] Artículo 3 Nº 12 de la Ley Nº 18.302.

discrecionalidad[519] para que el organismo sectorial competente[520] fije y exija al proponente las "*condiciones que permitan preservar el medio ambiente libre de contaminación*", fórmula indeterminada que, incluso, podría interpretarse como una referencia a la existencia de estándares normativos en materia de energía o radiación, que no existen en nuestro país[521].

Atendido lo dicho, urge especificar con claridad cuáles son los requisitos de carácter técnico y ambiental respecto de los riegos nucleares y de los impactos ambientales, y formalidades que se exigen como condición para el otorgamiento del permiso respectivo[522].

En otro orden de materias, el procedimiento de licenciamiento de la Ley de Seguridad Nuclear carece de normas especiales, debiendo entenderse remitido a la Ley Nº 19.880, sobre Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado, que fija normas mínimas al efecto. Es decir, la consecuencia lógica de ello es que dichas normas resultan aplicables

[519] Esta discrecionalidad es de carácter técnico, es decir, se refiere a "aquellos casos en que la ley confiere un ámbito de decisión a los administradores para obtener un resultado conforme a evaluaciones de naturaleza exclusivamente técnica. En muchos casos esta actividad está delimitada o guiada por conceptos jurídicos indeterminados (mérito y capacidad, justo precio, oferta más ventajosa). (…) Ahora bien, el necesario respeto al resultado de toda decisión técnica plausible debe combinarse con un control estricto del cumplimiento de las garantías organizativas y procedimentales, incluido el control de la legalidad de los criterios de tenidos en cuenta para la decisión, si es que tales criterios están definidos en una norma jurídica." Sánchez Morón, Miguel. Discrecionalidad administrativa y control judicial. Editorial Tecnos. Madrid, 1994. pp. 129-130. Para una breve conceptualización del concepto de potestades discrecionales, Vid. García de Enterría, Eduardo y Fernández, Tomás Ramón. Curso de Derecho Administrativo. Editorial Civitas, 5ª edición. Madrid, 1992. pp. 450-477. A su vez, para un estudio del control judicial de la discrecionalidad en general, *cfr*. Desdentado, Eva. Discrecionalidad administrativa y planeamiento urbanístico. Editorial Aranzadi. Pamplona, 1999. pp. 211-253.

[520] La Comisión Chilena de Energía Nuclear, en el caso del permiso del artículo 81, y el Ministerio de Energía, en el caso del permiso del artículo 82 del Reglamento del SEIA.

[521] En efecto, la Ley Nº 19.300 define en su artículo 2 literal m) '*medio ambiente libre de contaminación' como "aquel en que los contaminantes se encuentran en concentraciones y períodos inferiores a aquellos susceptibles de constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental*". 'Contaminación', por su parte, es "*la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente*" (artículo 2 literal c). 'Contaminante', finalmente, es "*todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental*" (artículo 2 literal d).

[522] "*Conviene que la legislación sobre energía nuclear ofrezca alguna orientación sobre el contenido obligatorio de la solicitud de licencia, aunque gran parte de la información sobre este punto puede incorporarse a los reglamentos que dicte el organismo regulador*". Stoiber, C. et. al., *Op. cit.*, p. 40.

supletoriamente a las normas especiales, en una relación de generalidad subsidiaria a la especialidad.

En particular, una decisión tan relevante y potencialmente conflictiva como el emplazamiento de una central de generación núcleo-eléctrica requiere de altos grados de transparencia, información pública e instancias de participación ciudadana, así como de cada uno de los organismos públicos con competencias técnicas y administrativas que pueden verse afectadas por la decisión. La posibilidad de ordenar un período de información pública, en los términos regulados por el artículo 39 de la Ley Nº 19.880 puede parecer insuficiente para estos efectos, toda vez que dicho trámite es (i) facultativo; (ii) su utilización por la Administración, hasta la fecha, ha sido escasa; (iii) el plazo para formular observaciones –y por ende, participar- podría restringirse arbitrariamente por el órgano al que le corresponda la resolución del procedimiento, pese a la trascendencia de la decisión [523].

Al final de esta sección nos referiremos a la evaluación ambiental estratégica como instrumento nuevo que puede venir a dar alguna respuesta a este punto.

Asimismo, es pertinente revisar el régimen de impugnación de las decisiones de la autoridad nuclear en la materia. En lo que respecta a la decisión de autorizar o denegar el emplazamiento de una instalación nuclear, no existen mecanismos especiales para recurrir contra la resolución o decreto, debiendo acudirse a los recursos administrativos ordinarios que otorga la Ley Nº 19.880, o a acciones de carácter judicial, como el recurso de protección de garantías constitucionales o la acción de nulidad de derecho público.

Finalmente, en materia de emplazamiento, es necesario compatibilizar y coordinar la decisión de la autoridad nuclear, con el pronunciamiento ambiental y las autorizaciones urbanísticas. Si bien el SEIA constituye un punto de encuentro, atendido el establecimiento de los permisos ambientales sectoriales señalados en el artículo 81, 82, 94 y 96 del Reglamento del SEIA, debe tenerse en cuenta que la resolución de calificación ambiental sólo se pronuncia sobre el cumplimiento de los requisitos ambientales de dichos permisos. Por tanto, se requiere definir si la evaluación ambiental se desarrollará en forma previa o paralela al procedimiento de licenciamiento.

[523] "Un proceso de autorización que ponga de manifiesto un alto grado de transparencia por parte de las autoridades puede fortalecer la confianza pública en el uso de materiales y tecnología nucleares. Por este motivo, se debe considerar la posibilidad de que la legislación nacional sobre energía nuclear incorpore disposiciones relativas a la participación pública en las actividades reguladoras. El grado de participación pública puede ajustarse a la naturaleza de la autorización de que se trate". *Ibíd*em, p. 41.

Hoy, al tratarse de un PAS, nos encontramos con que se sigue en principio de la ventanilla única conforme al cual una RCA aprobatoria obligaría a la autoridad que debe otorgar el PAS, en este caso al Ejecutivo, a dictar un decreto supremo a través del Ministerio de Energía.

4.6. Acerca del licenciamiento de la operación de una planta de generación de energía nuclear

Luego de ver el licenciamiento del emplazamiento y de la construcción de una planta de generación de energía nuclear, nos detendremos en la autorización de la etapa siguiente que sería la operación de una planta[524]. Hemos mantenido esta separación, a riesgo de caer en reiteraciones, para mantener la distinción de la etapa de emplazamiento y construcción respecto de las etapas que siguen.

4.6.1. Requerimientos de la legislación comparada y tratados internacionales

Los modelos de marcos regulatorios identificados dicen relación con la seguridad nuclear, la cual tiene por objeto evitar la pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales, somáticas, genéticas y síquicas que afecten a las personas, y los daños y perjuicios que se produzcan en los bienes como resultado directo o indirecto de las propiedades peligrosas de los combustibles nucleares o de los productos o desechos radiactivos que se encuentren en una instalación. En este sentido, evalúan riesgos específicamente, requiriendo para ello competencias técnicas diferenciadas.
Sin embargo, lo anterior no obsta a que los impactos ambientales generados por la instalación constituyan un elemento común que en todos los países considerados en el presente informe son objeto de revisión y evaluación por parte de la autoridad administrativa.

Por regla general el ejercicio de dicha competencia no le corresponde al organismo regulador de la seguridad nuclear, sino que corre por un carril distinto, generalmente previo o paralelo al licenciamiento de una instalación nuclear. De ahí que el aspecto ambiental posee una incidencia circunstancial en lo que dice relación a la regulación de la seguridad de las respectivas instalaciones, pero no por ello menos relevante como a continuación revisaremos acontece en nuestro país, el cual posee un sistema de evaluación de impacto ambiental más completo en su esfera regulada que aquel referido al licenciamiento de la actividad nuclear llevado a cabo por la CHEN. De este modo, el SEIA llena los vacíos del sistema de licenciamiento propiamente nuclear de la CCHEN, particularmente en lo que respecta a la participación ciudadana.

[524] En reunión en la CCHEN el 25 de enero de 2010 se nos explicó que en el esquema actual existe una autorización de puesta en marcha en la que se revisa que se cumpla con todo lo previsto, antes de introducir el combustible, y que es previa a la autorización de operación propiamente tal.

4.6.2. Modelos de licenciamiento de instalaciones nucleares en el derecho comparado

A modo de resumen, y como insumo para efectos de realizar el posterior cotejo con nuestra actual legislación, se identificaron los siguientes modelos existentes de licenciamiento de instalaciones nucleares, coincidentes para las etapas de construcción, operación y desmantelamiento de las mismas:

4.6.2.1. En cuanto al elemento temporal

4.6.2.1.1. Modelo de autorización única

En consideración a que entre las distintas fases que involucra un proyecto de generación de energía nuclear, se supone el transcurso de varios años, en ninguno de los países revisados se requiere de una única licencia genérica.

4.6.2.1.2. Modelo de triple-licenciamiento

Significa que se otorga una licencia para emplazar y construir, otra para explotar y una tercera para cerrar el reactor de potencia. Lo anterior nos lleva a distinguir entre:

4.6.2.1.3. Modelo de otorgamiento gradual de las licencias

Éste implica la necesaria verificación del cumplimiento de las condiciones, normas y requisitos específicos establecidos para la etapa anteriormente autorizada, en consecuencia el otorgamiento de las autorizaciones se efectuara de forma separada y sucesiva.

4.6.2.1.4. Modelo de otorgamiento conjunto de las licencias

Si bien la solicitud de autorización se efectúa considerando el fraccionamiento en fases del proyecto, en la práctica el titular obtendrá todas o algunas de las autorizaciones en conjunto, sin tener que esperar obtener una al término de la otra. Tal es el caso de EE.UU y la *Combined License*, la cual corresponde a un permiso tanto para construir, como para operar una nueva planta nuclear.

Independientemente del modelo que se adopte, constituye un elemento común en lo que se refiere al ámbito temporal, el que el otorgamiento de las licencias se efectúe por un periodo de tiempo determinado, y se proscriban las autorizaciones indefinidas, sin perjuicio que se contemplen alternativas de prorrogas y de operación a largo plazo.

4.6.2.2. En cuanto a la naturaleza de la potestad pública ejercida

4.6.2.2.1. Modelo de autorización reglada

Éste implica que la autoridad para otorgar la respectiva autorización tan solo se limitará a cotejar si el solicitante cumple o no con los requisitos y condiciones establecidas en la ley respectiva, de manera que el otorgamiento de la autorización posee un marco preciso y exclusivo.

De ello que, la vigencia de estas autorizaciones queda supeditada al cumplimiento de las condiciones estipuladas en las mismas autorizaciones y en las normas y requerimientos emitidos por la autoridad respectiva, encontrándose ésta facultada en consideración a lo anterior para proceder a suspender o a cancelar la licencia correspondiente, de acuerdo al régimen de sanciones vigentes.

4.6.2.2.2. Modelo de autorización discrecional

En estos casos la autoridad no está sujeta a un marco tan estricto como el descrito para la autorización reglada, pues posee una esfera de libertad para decidir entre el otorgamiento o denegación del título autorizatorio, pudiendo incorporar dentro de su apreciación de los hechos criterios de interés general.

Así por ejemplo acontece en Finlandia donde la decisión final respecto a una autorización es tomada por el parlamento en consideración a elemento de interés público.

El ejercicio de facultades discrecionales, y la inexistencia de un marco jurídico claro da pie para que la autoridad administrativa se encuentre legitimada para efectuar nuevas exigencias de seguridad tecnológica, aceptándose a fin de cuentas tácitamente una "cláusula de progreso", que impone el deber de realizar la actividad aplicando la mejor tecnología disponible.

Por su parte, de la revisión que realizan los distintos tratados internacionales sobre la actividad nuclear, podemos desprender los siguientes **requerimientos mínimos y comunes** para el licenciamiento de las etapas de construcción, operación y desmantelamiento de cualquier instalación nuclear, conforme a los cuales cada país debe contar con:

- Un sistema de otorgamiento de licencias relativas a las instalaciones nucleares, así como de prohibición de explotación de una central que carezca de (o pierda) la respectiva licencia[525].
- Inspección permanente por parte de la autoridad reguladora nuclear, conforme al principio de control continuo, para verificar el cumplimiento de las condiciones de otorgamiento de la licencia.
- Tipificación de delitos, tales como la recepción, posesión, uso, transferencia, alteración, evacuación o dispersión de materiales nucleares sin autorización legal cuando este acto cause o pueda causar muerte o lesiones graves o daños materiales sustanciales[526].

4.6.3. Regulación chilena del licenciamiento nuclear y vacíos identificados

En lo que se refiere a la regulación chilena, en el presente acápite revisaremos aquella que de forma expresa y directa regula a las instalaciones nucleares, sin perjuicio de ser aplicables aquellos permisos o autorizaciones comunes a todo tipo de generación eléctrica.

El principal cuerpo regulatorio de la actividad nuclear en nuestro país corresponde a la Ley de Seguridad Nuclear, la cual dentro del Párrafo I, referido a las medidas de seguridad contempla en su artículo 4 que ya hemos revisado con anterioridad. A propósito del emplazamiento.

Luego, en el Párrafo II, se regula de forma más especifica el estatuto general de las autorizaciones establecidas en su artículo 4, en este sentido dispone principalmente que:

- Las licencias o autorizaciones no podrán revocarse, suspenderse ni modificarse, salvo por causa prevista en el acto de su otorgamiento o por incumplimiento de las condiciones y exigencias impuestas en ellas, en la ley o en los reglamentos[527].
- La resolución que revoque, suspenda o modifique una autorización debe ser fundada y su titular podrá apelar de ella de acuerdo a un procedimiento especial[528].

[525] Convención sobre de Seguridad Nuclear de 1994, artículo 7º y Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos de 1998, artículo 19.1 y 19.2.
[526] Convención sobre Protección Física de Materiales Nucleares de 1980, artículos 7.1 y 7.2.
[527] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 13.
[528] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 36.

- Las licencias o autorizaciones sólo habilitan para los actos, operaciones o instalaciones nucleares determinados en ellas mismas y a la persona o personas que las obtengan, quienes no podrán invocarlas para otros objetos[529].
- Corresponde a la Comisión Chilena de Energía Nuclear conocer y sancionar las infracciones de las normas legales y reglamentarias sobre seguridad y protección nuclear y radiológica, y el incumplimiento de las condiciones y exigencias de las autorizaciones que otorga o de las instrucciones y medidas que adopta[530].

En lo que dice relación con el seguimiento de la actividad autorizada por parte de la autoridad administrativa, ésta consistirá en las actividades de supervisión, control, fiscalización e inspección de las actividades relacionadas con los usos de la energía nuclear en instalaciones nucleares, cuyo principal objeto será la comprobación del cumplimiento de la ley en comento y el cumplimiento de las condiciones y de las exigencias fijadas en las autorizaciones concedidas[531].

Al mismo tiempo la ley establece, en su Párrafo II, delitos contra la seguridad nuclear, destacando respecto al tema que nos interesa el artículo 45, que tipifica como delito el realizar cualquier actividad relativa al uso pacífico de la energía nuclear sin la debida autorización, licencia o permiso de la Comisión, constituyendo un peligro para la vida, la salud o la integridad de las personas, o para los bienes, los recursos naturales o el medio ambiente, ilícito que es sancionado con la pena de presidio menor en su grado mínimo a medio.

De lo anterior podemos concluir que, si bien la ley en análisis cumple ampliamente con los requerimientos de los tratados internacionales revisados, incluso establece delitos al respecto, es pobre comparada con la legislación de los países revisados. Esta carencia proviene de no dar un tratamiento diferenciado a la evaluación de riesgos nucleares y a la evaluación de impactos ambientales.

Tampoco el diseño de evaluación chileno entrega claridad en cuanto a si se está en presencia de un sistema que otorga una autorización genérica o si se debe autorizar una instalación de forma gradual, es decir por etapas.

Al mismo tiempo, al no efectuar dicha distinción, no se establecen requisitos algunos para la procedencia de la autorización, es decir, no es posible saber cuales son los criterios que utilizará la autoridad para permitir el desarrollo de la actividad nuclear, pues no se dispone en lo absoluto de éstos, por tanto no nos es posible calificar las autorizaciones en cuestión como regladas o discrecionales. Junto con ello, tampoco se

[529] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 15.
[530] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 33.
[531] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 20.

establecen cuales son los deberes u obligaciones del sujeto autorizado, si bien se habla genéricamente de las condiciones establecidas en el título autorizatorio cuyo incumplimiento puede acarrear incluso la revocación del mismo, pero sin determinarse cuales serán los criterios de la autoridad para definir dichos condicionamientos.

Tampoco nuestro sistema define un plazo de duración del título autorizatorio, y menos aún de renovación, por lo que a consecuencia de ello en ningún caso se contempla la posibilidad de adoptar en cada momento las acciones más adecuadas para que la central nuclear se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento, garantizando la seguridad, la fiabilidad y la disponibilidad necesarias para poder en algún momento incluso alargar el periodo previsto inicialmente, sino que la fiscalización se limita al control de las condiciones determinadas en el momento del otorgamiento de la autorización. Por tanto, no tiene el titulo autorizatorio la suficiente flexibilidad para adaptarse a los cambios tecnológicos, que tratándose de los bienes jurídicos en juego, debiese ser un requerimiento estrictamente necesario, pues ni siquiera se contempla un control del envejecimiento de los componentes que permita asegurar que la instalación funcionará correctamente.

Por otro lado de acuerdo al literal d) del artículo 10 de la LBGMA, constituyen actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, los reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas, requiriendo por tanto este tipo de proyecto su ingreso al sistema de evaluación de impacto ambiental, el cual vendrá a llenar ciertos vacíos de la legislación nuclear, como también lo señalamos anteriormente al referirnos al emplazamiento.

Adicionalmente, como hemos señalado, existe el respectivo permiso ambiental sectorial (PAS), ya detallado, que permite sostener que conforme al principio de la ventanilla única que inspira al SEIA, la comprobación de los requisitos ambientales para otorgar el PAS debe hacerse en el contexto del SEIA, y consecuentemente, una RCA aprobatoria obliga a otorgar el PAS, en la medida que se cumpla con los demás requisitos aplicables.

4.7. Del licenciamiento de la etapa de desmantelamiento en el marco del licenciamiento en general

4.7.1. En el Derecho Comparado

El análisis de las experiencias internacionales de los países seleccionados (Canadá, Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Alemania, España, Finlandia, Argentina, Brasil y República Checa) se enfocó en determinar los elementos comunes de estos marcos

regulatorios, y así poder identificar y destacar aquellos sistemas excepcionales o cuyo tratamiento del título autorizatorio respectivo difiere del marco general.

4.7.1.1. Papel del Estado

Conforme al rol regulador que caracteriza a los Estados occidentales contemporáneos, la explotación de las instalaciones nucleares se lleva a cabo en algún lugar por empresas privadas o mediante participación público-privadas. Esto es, sin perjuicio, que en algunos casos el Estado sí opere las plantas, pero siempre a través de empresas estatales.

Cabe mencionar que **Alemania,** en el 2002, se promulgó la Ley sobre Cese Estructurado de la Utilización de Energía Nuclear para Generación Comercial de Electricidad[532]. Dicha norma cambió la política pública en materia de energía nuclear: se abandonó la promoción de la energía nuclear y se pasó a un plan de eliminación de su uso en forma progresiva. Es así como hoy, las autorizaciones originalmente ilimitadas para operar una planta de energía nuclear tienen fecha de término.

4.7.1.2. Necesidad de autorización administrativa

De acuerdo con la legislación de los estados analizados, toda actividad relacionada con el uso de material y tecnología nuclear, y en particular la operación o explotación de las instalaciones nucleares, debe ser realizada de forma que no genere riesgos inaceptables a la salud pública, a la seguridad y al medio ambiente. Estas exigencias se comprueban en forma previa, mediante la intervención de parte de la autoridad regulatoria competente.

Según hemos podido apreciar, ninguno de los marcos regulatorios revisados exime al operador de la obligación de contar con autorización para la etapa de operación.

Cabe mencionar que, en **Finlandia**, la autorización para operar una central nuclear está en manos tanto del gobierno central, como del parlamento, apoyados por la STUK (entidad regulatoria del tema en dicho país)[533]. El gobierno primero toma una llamada "*decision-in-principle*" que es una pre-aprobación. En este proceso se considera si el proyecto cumple la normativa vigente en temas referentes a la seguridad, manejo de desechos, impacto al medio ambiente, ubicación adecuada, experticia suficiente y recursos financieros adecuados para su construcción y posterior operación. Una vez que se ha aprobado la "*decision-in-principle*" el tema

[532] Gesetz zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität.
[533] Al tratar el licenciamiento de la construcción y emplazamiento vimos los casos en los que interviene el Parlamento.

debe ser debatido en el parlamento, siendo este ente legislativo quien toma la decisión final.

4.7.1.3. Desmantelamiento en el marco de una licencia única o de una licencia por etapas

Dado que entre la fase de planificación y la efectiva conexión a la red eléctrica transcurren varios años, no resulta factible que el organismo regulador otorgue sólo una licencia genérica. En ninguno de los países revisados se exige una única licencia, sino que en todos ellos se requieren autorizaciones específicas para las fases de construcción, operación y desmantelamiento. Lo habitual es seguir un esquema de autorización por etapas, considerando que pueden transcurrir varios años entre cada una de ellas. Se trata así de un sistema de licenciamiento de tipo gradual, en el cual se subdividen cada una de las autorizaciones requeridas para una determinada instalación en varias decisiones parciales.

Lo general es que cada fase esté previamente determinada, con fechas claramente establecidas. De este modo, la firma que pide una licencia puede saber con certeza en qué momento se terminará la revisión de un determinado aspecto, reduciéndose los costos regulatorios y las incertidumbres mediante el establecimiento de parámetros técnicos y escalas de tiempo plenamente predecibles.

La primera licencia para explotar no se concede con carácter indefinido (situación típica de la legislación chilena de servicios públicos regulados, salvo las telecomunicaciones), sino que la tendencia mundial es a licenciar por períodos de 10 años, durante los cuales los reactores se someten a revisiones técnicas, pudiendo renovarse la licencia sólo cuando se hayan hechos las modificaciones o ajustes necesarios.

Sin embargo, existen estados en que no se efectúa una estricta distinción de las fases del ciclo del combustible nuclear para definir las autorizaciones necesarias. Así por ejemplo en EE.UU., el organismo encargado de la regulación nuclear, la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC), regula las nuevas centrales mediante un proceso "*streamlined*" de licencias. Este proceso consiste en 3 licencias a las que debe aplicar quien desee construir una nueva central (Design Certification, Combined License, Early Site Permit), donde la *Combined License* corresponde a un permiso tanto para construir como para operar una nueva planta nuclear en un lugar específico en concordancia con las leyes y regulaciones establecidas. Esta licencia es válida por 40 años y puede ser extendida 20 años más. La NRC revisa la seguridad del diseño, impacto ambiental, programas de operación, seguridad del lugar y proceso de construcción entre otros aspectos.

4.7.1.4. Naturaleza jurídica de las autorizaciones: autorización de funcionamiento

Como vimos al tratar los aspectos conceptuales del licenciamiento nuclear, las autorizaciones otorgadas para la etapa de operación de las instalaciones nucleares están configuradas como títulos autorizatorios de funcionamiento y no de operación, pues no se otorgan para una acción u operación determinada, sino que están vinculados a controles estatales que se mantienen vigentes y activos durante toda la vida de la planta.

Es así como durante la explotación de un reactor se pueden hacer nuevas exigencias de seguridad tecnológica, siendo necesaria la adecuación técnica de la central, lo que puede implicar una modificación de la autorización otorgada. Para el caso de no cumplirse con las adecuaciones, puede ser necesario tomar la decisión de cerrar el reactor, o bien, caducar o revocar la autorización o licencia otorgada. Esto tiene que ver con la llamada "cláusula de progreso", que impone el deber de realizar la actividad aplicando la mejor tecnología disponible.

En la misma línea, toda autorización o licencia concedida puede ser suspendida, modificada o revocada en caso de constatarse alguna infracción esencial de las condiciones estipuladas. El ejercicio de estas potestades exorbitantes requiere que la autoridad reguladora utilice procedimientos garantísticos, que aseguren el debido ejercicio de los derechos por parte de los regulados.

Las prórrogas de las autorizaciones o licencias también reciben tratamiento legal expreso. Por ejemplo, en **España,** la Ley 15/1980, sobre creación del Consejo de Seguridad Nuclear (reformada Ley 33/2007), establece un proceso de evaluación continua que asegura en todo momento que las instalaciones funcionan con las debidas garantías de seguridad. Asimismo, dicha ley avala que los plazos de vigencia establecidos en las autorizaciones de explotación de las instalaciones nucleares puedan ser prorrogados mientras la seguridad de su funcionamiento esté garantizada.

4.7.1.5. Elementos reglados y discrecionales

Las autorizaciones contienen elementos tanto reglados como discrecionales. Los elementos reglados deben darse por establecidos como resultado de la confrontación de la solicitud con los requisitos establecidos en las respectivas normas que regulan la actividad. Respecto de ellos, el órgano que autoriza no efectúa ninguna ponderación entre los intereses en presencia, pues su decisión ha de estar guiada sólo por uno: la seguridad en el ejercicio de la actividad.

Pero los elementos discrecionales abundan. Existen, de hecho, algunos casos en que la decisión es determinada discrecionalmente por la autoridad competente, tal como ocurre en **Finlandia**, donde el Parlamento para tomar la decisión final de si autoriza o no la operación de una instalación nuclear, considera dentro de sus elementos de apreciación si la central nuclear va en línea con el bienestar general de la sociedad.

En **Francia**, la autoridad al otorgar la respectiva autorización junto con verificar la suficiencia de las medidas técnicas o de organización previstas para la seguridad, salud pública y salubridad y la protección de naturaleza y medio ambiente[534], toma en cuenta las capacidades técnicas y financieras del solicitante. Esto se analiza bajo el supuesto de que este elemento le permitirá conducir el proyecto de conformidad a los intereses referidos, especialmente, para cubrir los costos de decomisionamiento de la instalación, realizar trabajos de remediación y monitorear y mantener el sitio de emplazamiento.

4.7.1.6. Oportunidad de la autorización para el desmantelamiento

Cuando la planta llega al fin de su vida útil esta debe pasar por el proceso de desmantelamiento (*decommissioning*) de las instalaciones y el manejo de las estructuras y equipos contaminados con radiación. La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) define 3 opciones para enfrentar el desmantelamiento:

4.7.1.6.1. Desmantelamiento inmediato

Típicamente el desmantelamiento final y la descontaminación del sitio comienza después de meses o años de terminadas las operaciones. Luego de remover el terreno del control regulatorio, éste queda listo para ser re-utilizado en otras actividades.

4.7.1.6.2. Otra opción es retrasar el desmantelamiento final 40 a 60 años

La planta es cerrada con las medidas de seguridad pertinentes hasta que el desmantelamiento y descontaminación ocurran.

4.7.1.6.3. Confinamiento

La tercera opción consiste en confinar los elementos radiactivos en una estructura de larga vida en el mismo sitio del reactor. No es necesario desmantelar completamente las instalaciones. Se debe garantizar que las estructuras tengan una duración tal que la radiación ya no represente un peligro.

[534] Artículo 29 de la Ley sobre Transparencia y Seguridad en Materia Nuclear, de Francia.

En lo que respecta a la autorización para desmantelamiento, ella procede una vez extinguida la autorización de explotación, bajo los mismos requisitos exigibles para dicha etapa, y faculta al titular a iniciar las actividades de descontaminación, desmontaje de equipos, demolición de estructuras y retirada de materiales, para permitir, en último término, la liberación total o restringida del emplazamiento.

El proceso de desmantelamiento termina habitualmente con una declaración de clausura, que liberara al titular de una instalación de su responsabilidad como explotador de la misma.

4.7.2. Regulación chilena del licenciamiento nuclear del desmantelamiento

En lo que se refiere a la regulación chilena, en el presente acápite revisaremos aquella que de forma expresa y directa regula a las instalaciones nucleares, sin perjuicio de ser aplicables aquellos permisos o autorizaciones comunes a todo tipo de generación eléctrica.

El principal cuerpo regulatorio de la actividad nuclear en nuestro país corresponde a la Ley de Seguridad Nuclear, la cual dentro del Párrafo I, referido a las medidas de seguridad contempla en su artículo 4 que:

> "Para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y **desmantelamiento,** en su caso, de las instalaciones, plantas, centros laboratorios, establecimientos y equipos nucleares y para el ingreso o tránsito por el territorio nacional, zona económica exclusiva, mar presencial y espacio aéreo nacional de sustancias nucleares o materiales radiactivos se necesitará autorización de la Comisión, con las formalidades y en las condiciones que se determinan en esta ley y en sus reglamentos. Las centrales nucleares de potencia, las plantas de enriquecimiento, las plantas de reprocesamiento y los depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos, deberían ser autorizados por decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Minería."

Luego en el Párrafo II, se regula de forma más especifica el estatuto general de las autorizaciones establecidas en su artículo 4, en este sentido dispone principalmente que:

- Las licencias o autorizaciones no podrán revocarse, suspenderse ni modificarse, salvo por causa prevista en el acto de su otorgamiento o por

incumplimiento de las condiciones y exigencias impuestas en ellas, en la ley o en los reglamentos[535].

- La resolución que revoque, suspenda o modifique una autorización debe ser fundada y su titular podrá apelar de ella de acuerdo a un procedimiento especial[536].
- Las licencias o autorizaciones sólo habilitan para los actos, operaciones o instalaciones nucleares determinados en ellas mismas y a la persona o personas que las obtengan, quienes no podrán invocarlas para otros objetos[537].
- Corresponde a la Comisión Chilena de Energía Nuclear conocer y sancionar las infracciones de las normas legales y reglamentarias sobre seguridad y protección nuclear y radiológica, y el incumplimiento de las condiciones y exigencias de las autorizaciones que otorga o de las instrucciones y medidas que adopta[538].

En lo que dice relación con el seguimiento de la actividad autorizada por parte de la autoridad administrativa, ésta consistirá en las actividades de de supervisión, control, fiscalización e inspección de las actividades relacionadas con los usos de la energía nuclear en instalaciones nucleares, cuyo principal objeto será la comprobación del cumplimiento de la ley en comento y el cumplimiento de las condiciones y de las exigencias fijadas en las autorizaciones concedidas[539].

Al mismo tiempo la ley establece, en su Párrafo II, delitos contra la seguridad nuclear, destacando respecto al tema que nos interesa el artículo 45, que tipifica como delito el realizar cualquier actividad relativa al uso pacífico de la energía nuclear sin la debida autorización, licencia o permiso de la Comisión, constituyendo un peligro para la vida, la salud o la integridad de las personas, o para los bienes, los recursos naturales o el medio ambiente ilícito que es sancionado con la pena de presidio menor en su grado mínimo a medio.

4.7.3. Vacíos y Contradicciones

De lo anterior podemos concluir, reiterando lo señalado sobre el licenciamiento en general, que, si bien la ley en análisis cumple apenas con los requerimientos más básicos de los tratados internacionales revisados, es pobre comparada con la legislación de los países revisados.

[535] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 13.
[536] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 36.
[537] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 15.
[538] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 33.
[539] Ley de Seguridad Nuclear, artículo 20.

Esto se debe, como lo señalamos más arriba, a que no obstante establecer un marco regulatorio de licenciamiento, éste no entrega total claridad en cuanto a si se está en presencia de un sistema que otorga una autorización genérica o si se debe autorizar una instalación de forma gradual, es decir por etapas, cuestión que queda entregada a la aplicación en concreto, es decir, a la práctica.

Al mismo tiempo, al no efectuar dicha distinción, no se establecen requisitos algunos para la procedencia de la autorización, es decir, no es posible saber cuales son los criterios que utilizará la autoridad para permitir el desarrollo de la actividad nuclear, pues no se dispone en lo absoluto de éstos, por tanto no nos es posible calificar las autorizaciones en cuestión como regladas o discrecionales. Junto con ello, tampoco se establecen cuales son los deberes u obligaciones del sujeto autorizado, si bien se habla genéricamente de las condiciones establecidas en el título autorizatorio cuyo incumplimiento puede acarrear incluso la revocación del mismo, pero sin determinarse cuales serán los criterios de la autoridad para definir dichos condicionamientos.

Tampoco nuestro sistema define un plazo de duración del título autorizatorio, y menos aún de renovación, por lo que a consecuencia de ello en ningún caso se contempla la posibilidad de adoptar en cada momento las acciones más adecuadas para que la central nuclear se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento, garantizando la seguridad, la fiabilidad y la disponibilidad necesarias para poder en algún momento incluso alargar el periodo previsto inicialmente, sino que la fiscalización se limita al control de las condiciones determinadas en el momento del otorgamiento de la autorización, sin tener por tanto el titulo autorizatorio la suficiente flexibilidad para adaptarse a los cambios tecnológicos, que tratándose de los bienes jurídicos en juego, debiese ser un requerimiento estrictamente necesario, pues ni siquiera se contempla un control del envejecimiento de los componentes que permita asegurar que la instalación funcionará correctamente.

Por otro lado de acuerdo al literal d) del artículo 10 de la LBGMA, constituyen actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, los reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas, requiriendo por tanto este tipo de proyecto su ingreso al sistema de evaluación de impacto ambiental, el cual vendrá a llenar ciertos vacíos de la legislación nuclear, como también lo señalamos anteriormente al referirnos al emplazamiento. Adicionalmente, como hemos señalado, existe el respectivo PAS, ya detallado, que permite sostener que conforme al principio de la ventanilla única que inspira al SEIA, la comprobación de los requisitos para otorgar el PAS debe hacerse en el contexto del SEIA, y consecuentemente, una RCA aprobatoria obliga a otorgar el PAS.

Las normas de seguridad nuclear y aquellas ambientales pertenecen a ámbitos normativos distintos, cuyos objetos de protección son bienes jurídicos diferentes, sin perjuicio de lo cual el sistema mejor estructurado puede complementar al que carece de suficiente complejidad. Dicho de otro modo, y tal como ya se ha señalado en otra oportunidad, las normas de seguridad nuclear miran a los riesgos de la actividad de generación núcleo-eléctrica, mientras que las normas ambientales miran a los impactos que una planta puede acarrear.

4.8. Del licenciamiento del almacenamiento y disposición final de desechos radioactivos

4.8.1. En el Derecho Comparado

En el Derecho Comparado se observa que la principal preocupación de los países donde se desarrolla la actividad nuclear en materia de desechos radiactivos y combustible nuclear gastado es garantizar que su gestión se desarrolle de manera tecnológicamente segura hasta mucho más allá de las generaciones presentes[540].

Para efectos de asegurar este objetivo, considerando los riesgos que conllevan, la mayor parte de las legislaciones examinadas exigen algún tipo de licencia o autorización para efectos de manejar, transportar, almacenar y disponer en forma definitiva y a largo plazo este tipo de residuos.

Al respecto, en términos básicos, cabe distinguir entre almacenamiento y disposición final de desechos radiactivos, teniendo en cuenta que estas etapas del desarrollo núcleo-eléctrico se distinguen por el horizonte temporal que abarca cada una: en el caso del almacenamiento, su temporalidad se vincula a la posibilidad de recuperar los desechos, mientras que en el caso de la disposición final, se está frente a una solución definitiva.

Se examinará la experiencia comparada en cada una de estas etapas, teniendo presente la regulación a la que se les somete y las autoridades competentes.

4.8.1.2. Licencia del Almacenamiento de desechos radioactivos

En materia de almacenamiento de desechos radiactivos y combustible nuclear gastado, la mayor parte de los países examinados requieren de una licencia especial otorgada por la autoridad para estos efectos, ya sea que forme parte de una licencia marco para operar una instalación nuclear de generación eléctrica o se trate de un establecimiento diferente de aquel.

[540] Stoiber, Carlton et al., *Manual de Derecho Nuclear*, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2006, p. 107.

Así, por ejemplo, en el caso de la República Federal de **Alemania**, en lo que respecta al almacenamiento de combustible irradiado, la Ley de Energía Atómica dispone que nadie puede tener en su poder combustible nuclear sin la correspondiente licencia que lo autorice para manejarlo, transportarlo, almacenarlo, tratarlo, procesarlo o disponerlo. Asimismo, se regula el otorgamiento de licencias para el almacenamiento de combustible nuclear irradiado fuera de la custodia del Gobierno, en contenedores ubicadas en bodegas separadas dentro del sitio de una central nuclear[541], licencias que serán otorgadas por la Oficina Federal de Protección Radiológica[542].

Por su parte, la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear de la **República Checa**[543] otorga licencias para este tipo de almacenamiento, en áreas o instalaciones especiales por un período determinado, y además, aprueba y homologa los contenedores a utilizar para este propósito[544]. La evaluación de impacto ambiental es un prerrequisito para otorgar estas licencias en el caso de instalaciones para almacenar desechos radioactivos[545].

En **España**, a su turno, el almacenamiento temporal de sustancias nucleares en una instalación en fase de construcción que no disponga de autorización de explotación requiere una autorización especial, otorgada por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo[546].

---

[541] Artículo 6 de la Ley de Energía Atómica. Con la reforma del año 2002 de la Ley de Energía Atómica, se ha impulsado la obligación para los operadores de plantas de energía nuclear de contar con instalaciones de almacenamiento transitorio *in situ* de combustible irradiado hasta su entrega a una instalación de disposición final, a objeto de reducir considerablemente el transporte de elementos combustibles irradiados. Vorwerk, Axel, "The 2002 Amendment to the German Atomic Energy Act Concerning the Phase-out of Nuclear Power", *Nuclear Law Bulletin*, 2002, Nº 69, p. 12. Disponible en: http://www.nea.fr/html/law/nlb/nlb-69/nlb69-vorwerk.pdf.

[542] Es un órgano independiente, vinculado al Ministerio Federal del Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear.

[543] Autoridad regulatoria, licenciante y fiscalizadora, que constituye una agencia de la Administración Central del Estado, dirigida por un Presidente, designado por el Gobierno, con el que se relaciona directamente a través del Primer Ministro. Atendido que la República Checa es un estado unitario, este organismo otorga las licencias para todo el país.

[544] Artículo 9, Ley Nº 18/97, de Energía Nuclear.

[545] Anexo 1, Ley Nº 100/01, sobre Evaluación de Impacto Ambiental.

[546] Ley Nº 25/64, sobre Energía Nuclear. La fiscalización del cumplimiento de la normativa y de los requisitos bajo los cuales se otorgaron las licencias corresponde al Consejo de Seguridad Nuclear, ente de derecho público, independiente de la Administración General del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

En **Estados Unidos**, la Comisión de Regulación Nuclear[547] tiene a su cargo el licenciamiento del almacenamiento de combustible nuclear gastado en instalaciones independientes, bajo dos opciones de licencias: para un sitio específico o una licencia general, que autoriza a una licenciatario de una central nuclear para almacenar combustible gastado en contenedores en el mismo sitio autorizado para operar el reactor. Respecto a los desechos radiactivos, se almacenan normalmente en la misma instalación autorizada donde se han generado, ya sea hasta que haya disminuido su nivel de actividad y puedan ser dispuestos como residuos normales, o hasta que acumule una cantidad suficiente para su envío a sitios de disposición, en contenedores aprobados por el Departamento de Transporte[548].

Lo mismo acontece en el caso de **Holanda**, país en el cual los establecimientos donde se almacenan materiales fisibles requieren de una licencia, sea que hayan sido especialmente diseñados para ese propósito o que sean usados temporalmente para ello[549].

Por otra parte, en el derecho comparado es posible observar que determinadas legislaciones optan por *entregar directamente a un ente público la gestión de los desechos radiactivos y del combustible nuclear gastado,* correspondiendo a los titulares de licencias para operar centrales o instalaciones nucleares el entregar tales residuos y, la mayor parte de las veces, financiar la operación de ese organismo.

Este es el caso de **Francia**, donde, de conformidad a la Ley Nº 739, de 28 de junio de 2006, sobre Gestión Sustentable de los Materiales y Desechos Radiactivos, la Agencia Nacional para la Gestión de los Desechos Radiactivos (ANDRA)[550] tiene a su cargo el diseño, instalación, construcción y gestión de centros de almacenamiento de desechos radiactivos en todo el país.

En lo que respecta a los desechos radiactivos, en **Alemania,** los Länder[551] tienen a su cargo el establecimiento de instalaciones para el almacenamiento transitorio de los

[547] Esta agencia reguladora, dotada de personalidad jurídica propia, está dirigida por una comisión formada por cinco miembros designados por el Presidente, con acuerdo del Senado, entre cuyas funciones se encuentra el licenciamiento respecto de materiales e instalaciones nucleares a nivel federal.
[548] Nuclear Regulatory Commission, *Radioactive Waste*, Disponible en: http://www.nrc.gov/waste.html.
[549] Las licencias en Holanda son otorgadas conjuntamente por el Ministro de Vivienda, Planificación Territorial y Medio Ambiente, que actúa como coordinador; por el Ministro de Asuntos Económicos, y por el Ministro de Asuntos Sociales y Empleo, de acuerdo a la Ley de Energía Nuclear. Por otra parte, de acuerdo al Anexo, Parte C, del Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental, el otorgamiento de licencia para un establecimiento de una instalación de combustible nuclear irradiado o de residuos radioactivos procedentes de otra instalación, requiere someterse a evaluación de impacto ambiental.
[550] ANDRA es un establecimiento público de carácter industrial y comercial, que opera bajo la tutela de los ministerios encargados de la energía, la investigación y el medio ambiente.
[551] Estados federados de la República Federal Alemana.

desechos originados en sus territorios. El generador o poseedor de estos desechos debe entregarlos a tales instalaciones[552].

Por su parte, en **Brasil** le corresponde a la Comisión Nacional de Energía Nuclear proyectar, construir e instalar depósitos intermedios de residuos radiactivos, así como su administración y operación[553].

Finalmente, cabe considerar que la legislación sueca relativa al licenciamiento de actividades e instalaciones nucleares contempla la exigencia de licencia para determinadas actividades, concibiendo la gestión y disposición de residuos como una obligación del licenciatario. De conformidad a la Ley sobre Actividades Nucleares, el titular de una licencia para operar un reactor nuclear, es responsable del manejo y disposición segura del combustible nuclear y los desechos radiactivos producidos por el reactor (artículo 10), lo que incluye su almacenamiento transitorio y la investigación necesaria para dicho propósito.

En un sentido similar, en **Argentina**, los generadores de estos residuos son responsables del acondicionamiento y almacenamiento seguro de los residuos generados por las instalaciones que operan, hasta su transferencia a la Comisión Nacional de Energía Atómica[554].

Algunas legislaciones prohíben el almacenamiento de desechos radiactivos provenientes de otros países (**Suecia y Francia**).

4.8.1.3. Licencia de la disposición final

En el caso de la disposición final, es posible efectuar igualmente una distinción entre aquellos Estados que contemplan un régimen de licenciamiento para las instalaciones respectivas, sean éstas operadas por entes públicos o privados, y aquellos que han

[552] Artículo 9a (2) de la Ley de Energía Atómica.
[553] Artículos 9 y 13 de la Ley Nº 10.308, de 2001, sobre Depósitos de Residuos Radiactivos. Esta misma ley dispone en su artículo 10 que la responsabilidad por el licenciamiento de estos depósitos que corresponde a la Comisión Nacional de Energía Nuclear en lo que respeta especialmente a los aspectos referentes al transporte, manejo y almacenamiento de desechos radiactivos y a la seguridad y protección radiológica de las instalaciones, es sin perjuicio de la licencia ambiental y las demás licencias que sean legalmente exigibles.
[554] Artículo 6 de la Ley Nº 25.018, sobre Programa Nacional de Gestión de Residuos Radioactivos (1998). Se requiere licencia para la construcción, puesta en marcha y operación de una instalación nuclear, la que es otorgada por la Autoridad Regulatoria Nuclear, entidad autárquica en jurisdicción de la Presidente de la Nación. Tiene a su cargo el establecimiento, desarrollo y aplicación del régimen regulatorio para todas las actividades nucleares que se realicen en la República Argentina.

decidido asumir íntegramente la gestión de los desechos radiactivos y del combustible nuclear gastado[555], creando organismos o empresas *ad hoc.*

La mayor parte de las experiencias revisadas han adoptado esta segunda opción, ya sea creando nuevos entes o entregando esa misión a organismos ya existentes.

En este último caso, puede considerarse a la República Federal de **Alemania**, cuya Ley de Energía Atómica establece dentro del ámbito de competencia de la Federación —a través de la Oficina Federal de Protección Radiológica— el establecimiento de instalaciones para el confinamiento y disposición final de desechos radioactivos. No obstante ello, la Ley autoriza a la Federación para concesionar total o parcialmente el ejercicio de sus funciones a terceros, siempre que sean capaces de ofrecer una garantía para el apropiado cumplimiento de las funciones asignadas y quedando sujetos a la supervisión de la Federación.

En **Estados Unidos**, ocurre algo similar a nivel federal, atendido que, en el caso de la disposición final de residuos de alto nivel de peligrosidad, le corresponde al Departamento de Energía la construcción y operación de un depósito geológico, mientras que la Agencia de Protección Ambiental debe establecer estándares de protección de la salubridad pública y ambiental. Por su parte, la Comisión de Regulación Nuclear debe regular y fijar las exigencias en materia de autorización para la construcción, operación y desmantelamiento del lugar de disposición[556].

En Sudamérica, tanto **Brasil** como **Argentina** entregan la gestión de los residuos radioactivos a un organismo público que cumple además otras funciones en el ámbito nuclear. Así, en el caso de **Brasil** la Comisión Nacional de Energía Nuclear tiene a su cargo la construcción, administración y operación de depósitos finales de residuos radiactivos, así como su licenciamiento y fiscalización[557]. Respecto de **Argentina**, tal misión le corresponde a la Comisión Nacional de Energía Atómica, siendo controlada por la Autoridad Regulatoria Nuclear, mientras que los generadores, por su parte, deben financiar tal gestión mediante aportes de acuerdo a la naturaleza y volumen de la generación, y transferir los residuos radiactivos y elementos combustibles irradiados[558].

---

[555] Así lo expresan la legislación argentina (Ley Nº 25.018 regula el Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos) y checa (Ley de Energía Nuclear)

[556] Lo expresado, de acuerdo a la Ley de Política de Desechos Nucleares, de 1982, y la Ley de Energía Nuclear, de 1992.

[557] Artículos 9 y 13 de la Ley Nº 10.308, de 2001, sobre Depósitos de Residuos Radiactivos.

[558] Sin embargo, la Ley Nº 25.018 regula el Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos no se encuentra detallada por el correspondiente reglamento, por lo que sus disposiciones aún no son operativas.

En el ámbito europeo, a modo ejemplar, **Francia**[559]**, República Checa**[560] **y Bélgica**[561] han establecido agencias especiales encargadas de esta materia, y muy comúnmente, también del desmantelamiento de instalaciones nucleares. Por su parte, **Italia**[562]**, Holanda**[563] **y España**[564], han establecido empresas públicas con similares funciones, donde sus propietarios son los organismos competentes de la Administración centralizada del Estado.

Un modelo distinto es el seguido por **Canadá**, donde la Ley de Desechos de Combustible Nuclear, de 2002, estableció que las compañías eléctricas generadoras que utilizan combustible nuclear deben establecer una organización de gestión de residuos para proporcionar recomendaciones al Gobierno de Canadá en cuanto a la gestión a largo plazo de combustible nuclear usado (en particular, su disposición), así como su desarrollo e implementación.

El hecho de entregar la gestión de estos desechos al Estado, a través de uno de sus organismos o mediante la creación de una empresa pública con ese giro, o a terceros distintos de los generadores, no excluye a las instalaciones respectivas del régimen de licenciamiento, conforme lo prescrito en los estatutos legales generales dedicados a la temática nuclear, ni de la evaluación de impacto ambiental.

Así, en la **República Checa**, la disposición final de desechos radioactivos requiere una licencia otorgada por la Oficina Estatal de Seguridad Nuclear y la ley dispone que deben someterse a evaluación de impacto ambiental las instalaciones de depósito y disposición final o almacenamiento de largo tiempo (más de 10 años) de combustible nuclear gastado o irradiado y desechos radioactivos, en un sitio diferente al de su producción[565]. En **Canadá**, los depósitos de desechos radiactivos son considerados emplazamientos mayores que requieren licencia[566] otorgada por la Comisión

[559] Agencia Nacional para la Gestión de los Desechos Radiactivos (ANDRA).
[560] Autoridad para Repositorios de Desechos Radioactivos (SÚRAO), organismo dependiente del Ministerio de Industria y Comercio.
[561] Organismo Nacional de Desechos Radioactivos y de Materiales Fisibles Enriquecidos (ONDRAF), es una agencia pública que se vincula al Ministerio de Energía.
[562] Sociedad para la Gestión de las Instalaciones Nucleares (SOGIN), es una sociedad por acciones cuyo único socio es el Ministerio de Economía y Finanzas italiano.
[563] Organización Central para Desechos Radioactivos (COVRA), empresa pública sin fines de lucro.
[564] Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. (ENRESA). Se trata de una empresa pública, creada mediante Real Decreto Nº 1.522/84, cuyos accionistas son el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, del Ministerio de Ciencia e Innovación, y la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales, del Ministerio de Economía y Hacienda.
[565] Anexo 1, Ley Nº 100/01, sobre Evaluación de Impacto Ambiental.
[566] Dentro del procedimiento de licenciamiento se contempla la evaluación ambiental de las instalaciones. El decisión de licenciamiento de instalaciones nucleares mayores, así como la evaluación ambiental del proyecto, corresponde en específico al Tribunal de la Comisión, que adopta sus

Canadiense de Seguridad Nuclear[567]. Otro tanto puede decirse en el caso de **Holanda**, donde el establecimiento de una instalación de disposición final de combustible nuclear irradiado o de residuos radiactivos requerirá licencia de los Ministerios competentes, previa evaluación de impacto ambiental[568]; y de **Bélgica** (Región de Valonia)[569] y **España**[570].

A nivel de la **Unión Europea**, es relevante tener en cuenta que las normativas ambientales europeas[571] han incorporado entre sus instrumentos de gestión ambiental la evaluación de impacto ambiental transfronterizo, de acuerdo a lo dispuesto por la Convención de Espoo, sobre Evaluación del Impacto Ambiental en un Contexto Transfronterizo, de 1991, y el Protocolo de Kiev, sobre Evaluación Ambiental Estratégica, de 2003, instrumentos suscritos en el marco de la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas.

En lo que respecta a los repositorios geológicos profundos, la mayor parte de las legislaciones comparadas han establecido programas de investigación y ciertos requisitos mínimos para su futuro licenciamiento. En el caso de **Francia**, tras un debate público entre 2005 y 2006, se dictó la Ley Nº 739, de 2006, relativa a la gestión sustentable de los materiales y desechos radiactivos. En cuanto a los residuos radiactivos de alta actividad y larga vida, esta ley establece reglas específicas para la autorización de una futura instalación de almacenamiento en formaciones geológicas profundas, entre ellas, que la solicitud debe concernir a una formación geológica que haya sido objeto de estudios por medio de un laboratorio subterráneo, y que la solicitud sea objeto de un debate público. Además, se contempla la participación de diversas autoridades y poderes del Estado[572].

En **Alemania**, la normativa ha dispuesto que la disposición final de todo tipo de desechos radioactivos se realizará en formaciones geológicas profundas, resultando aplicable las disposiciones que establece la Ley Federal de Minería en cuanto a la construcción de instalaciones y sistemas subterráneos de almacenamiento[573]. Ha

---

decisiones en audiencias públicas en que las partes interesadas y miembros de la ciudadanía pueden ser oídos.

[567] Esta comisión, creada por la Ley de Seguridad y Control Nuclear de 1997, es un organismo autónomo, que se relaciona con el Ministerio de Recursos Naturales y responde al Parlamento.

[568] Artículo 15 de la Ley de Energía Nuclear y Anexo, Parte C, del Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental.

[569] Decreto de 10 de diciembre de 2004 de la Región de Valonia, que establece las categorías de proyectos que se someten a evaluación de impacto ambiental.

[570] Estas instalaciones requieren autorización de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

[571] A modo ejemplar, Holanda y República Checa.

[572] Artículo 12 de la Ley sobre Gestión Sustentable de los Materiales y Desechos Radiactivos.

[573] Artículo 126 (3) de la Ley Federal de Minería.

existido gran controversia en torno al proyecto de construcción de un repositorio de largo tiempo cerca de la localidad de Gorleben, en Baja Sajonia, para residuos altamente radiactivos, tanto nacionales como internacionales[574].

En el **Reino Unido**, le corresponde a la Autoridad de Seguridad y Salud, a través de su Dirección Nuclear, la concesión de licencias para una instalación de almacenamiento geológico, de conformidad a la Ley sobre Instalaciones Nucleares de 1965.

Respecto a los residuos de bajo nivel de radioactividad, en **Estados Unidos** ello queda entregado a las responsabilidades y regulaciones que establezca cada Estado, pudiendo establecerse acuerdos entre los Estados, así como solicitar a la Comisión de Regulación Nuclear que autorice sitios de disposición final en el evento que sus regulaciones sean compatibles con la que cuenta dicha entidad.

En **Suecia,** la disposición final de desechos radiactivos y de combustible nuclear gastado constituye una obligación del titular de la licencia, y por tanto, no requiere de licencia por separada.

4.8.2. Licenciamiento del almacenamiento y disposición final de desechos radioactivos en Chile

El artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear comprende la autorización otorgada por la Comisión Chilena de Energía Nuclear para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento, en su caso, de las instalaciones nucleares. La definición que esta ley entrega de 'instalación nuclear' no contempla expresamente alguna instalación para el almacenamiento transitorio de desechos radiactivos o combustible nuclear irradiado[575].

Por su parte, el mismo artículo 4 indica que los "*depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos*" deberán ser autorizados por decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía.

Tal como en la legislación comparada, la disposición final –entendida como "almacenamiento permanente"-- requiere licencia, en este caso, otorgada directamente por el Gobierno, mediante decreto supremo.

---

[574] El nuevo gobierno de coalición alemán, formado tras las elecciones de septiembre de 2009, acordó levantar la moratoria que existía respecto a las investigaciones en torno a la idoneidad de Gorlaben como repositorio de largo tiempo, así como establecer compensaciones para las regiones en que se ubiquen instalaciones de eliminación de residuos radioactivos. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety y Federal Office for Radiation Protection, *Nuclear Regulatory Issues and Main Developments in Germany*, Noviembre 2009, p. 11. Disponible en: http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/Germany_Nuclear-Regulatory_Issues.pdf.

[575] Artículo 3 Nº 9 literal c) de la Ley Nº 18.302.

En Chile, la Comisión Chilena de Energía Nuclear tiene a su cargo la "*mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radiactivos de larga vida*", como lo dispone el artículo 32 de la Ley Nº 18.302, siguiendo el modelo comparado que otorga a entes públicos esta responsabilidad[576]. El propio artículo 32 indica que cuando este organismo público realiza estas actividades queda sujeto "*a todas las prescripciones y exigencias de la presente ley*".

Conforme a las actuales normas de la Ley de Seguridad Nuclear, cualquier persona natural o jurídica que cumpla los requisitos para explotar una instalación nuclear puede obtener la autorización correspondiente[577].

En materia de localización de estos depósitos de almacenamiento permanente, no hay normas especiales. No resulta aplicable la calificación industrial del artículo 4.14.2 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, por cuanto no se trata de un establecimiento que contemple procesos productivos, ni tampoco puede ser categorizado como un establecimiento de bodegaje[578]. Tampoco parece plausible considerarlo como incluido dentro del concepto de 'infraestructura sanitaria', como tipo de uso de suelo definido por un instrumento de planificación territorial.

En lo que respecta a su más probable localización fuera de los límites urbanos, cabría entender que se trata de 'equipamiento' para los efectos del artículo 55 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, requiriéndose, en consecuencia, informe favorable de la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, y del Servicio Agrícola y Ganadero respectivos.

En cuanto a la evaluación de impacto ambiental, el artículo 10 literal d) de la Ley Nº 19.300, indica que los "*reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas*" constituyen proyectos susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al SEIA. A mayor abundamiento, el literal d) del artículo 3 del Reglamento del SEIA establece que "*se entenderá por instalaciones relacionadas los depósitos de almacenamiento permanente de sustancias nucleares o radiactivas correspondientes a reactores o establecimientos nucleares*".

Por su parte, el literal ñ) del artículo 10 de la Ley Nº 19.300 dispone el ingreso al SEIA del almacenamiento de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas, especificando el artículo 3 del Reglamento del SEIA cuando se entiende que el almacenamiento de tales sustancias peligrosas es habitual, en función

[576] Esta modalidad es similar a la situación de Alemania y Brasil.
[577] Artículo 3 Nº 11 de la Ley Nº 18.302.
[578] El artículo 1.1.2 de la OGUC expresa que 'Establecimiento de bodegaje' es el "*lugar destinado al acopio de insumos o productos*".

de ciertas magnitudes y períodos que indica su literal ñ). En la medida que los desechos radiactivos y el combustible nuclear irradiado puedan ser entendidos como sustancias peligrosas para los efectos de las disposiciones citadas, su almacenamiento transitorio requeriría previamente ser evaluado ambientalmente[579].

Debe apuntarse que, en el marco del SEIA, resultaría exigible que el proponente o titular del proyecto acompañe los antecedentes necesarios para acreditar los requisitos para el otorgamiento del permiso ambiental sectorial contemplado en el artículo 82 del Reglamento del SEIA, aplicable a los "*depósitos de almacenamiento permanente de desechos calientes de larga vida, a que se refiere el artículo 4 de la Ley Nº 18.302*". En cuanto a los requisitos para su otorgamiento, el Reglamento del SEIA expresa que "*se deberán considerar las condiciones que permitan preservar el medio ambiente libre de contaminación*".

Finalmente, la ley chilena declara que "*No podrá autorizarse el almacenamiento de desechos nucleares o radiactivos en territorio nacional, salvo que se produzcan u originen en él*"[580], tal como ocurre en el derecho comparado.

4.8.3. Vacíos y contradicciones detectadas

La ley nuclear nacional no contempla en forma expresa una autorización para instalaciones de almacenamiento transitorio de desechos radiactivos. En efecto, el artículo 4 sólo se refiere al "*almacenamiento permanente de desechos radiactivos*", mientras que la definición legal de 'instalación nuclear' habla de "*almacenamiento permanente de sustancias nucleares*"[581]. Como se ha visto en la escena internacional, la exigencia de una licencia es regla común, aún cuando en algunos países la autorización de instalaciones de almacenamiento temporal puede formar parte de una licencia marco.

La única norma en la Ley de Seguridad Nuclear que podría ser considerada es lo expresado en la parte final del artículo 32, donde se indica "*En los demás casos, los depósitos de desechos radiactivos serán de responsabilidad de la persona que los tenga a su cargo*", esto es, cuando no se trate de depósitos de almacenamiento permanente nucleares o radiactivos de larga vida.

En la legislación ambiental, esta carencia podría verse salvada en alguna medida, en la medida que el almacenamiento de sustancias peligrosas debe someterse a evaluación

[579] Confirma esta posibilidad el artículo 3 Nº 7 literal c) que entiende por sustancia nuclear, a los subproductos y desechos radiactivos.
[580] Artículo 4 inciso final de la Ley Nº 18.302.
[581] De acuerdo al artículo 3 Nº 7 literal c) de la Ley Nº 18.302, las sustancias nucleares comprenden los subproductos y desechos radiactivos.

ambiental, lo que aseguraría el cumplimiento de la legislación ambiental pertinente. No obstante, en materia de permisos ambientales sectoriales, a otorgarse en el marco del SEIA, se reitera lo indicado por el artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear, por lo que sólo se cuenta con el permiso indicado en el artículo 82 del Reglamento del SEIA, referido a depósitos de almacenamiento permanente.

Por otra parte, el PAS del artículo 82 del Reglamento del SEIA se limita a reproducir como requisito para su otorgamiento lo ya indicado por el artículo 4 de la Ley Nº 18.302, en el sentido de que deben considerarse "*las condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación*", sin especificar los requisitos y contenidos técnicos y formales que el interesado debe satisfacer para obtener un pronunciamiento favorable a su respecto, lo que puede prestarse para arbitrariedad y falta de rigurosidad técnica, tanto por parte del organismo competente que participa de la evaluación, como por la autoridad ambiental que se pronunciará, en definitiva, respecto al proyecto.

Como indica el artículo 32 de la Ley Nº 18.302, compete a la Comisión Chilena de Energía Nuclear la mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radioactivos de larga vida. La misma disposición aclara que esta Comisión "*quedará sujeta a todas las prescripciones y exigencias de la presente ley*". Se trata de un diseño normativo que se encuentra presente en otras legislaciones. En tal sentido, cabría entender que la propuesta de emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de este tipo de depósitos deberá ser autorizado por decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía.

Ahora bien, en el marco del SEIA, tal autorización corresponde al permiso ambiental sectorial del artículo 82 del Reglamento del SEIA. En el evento planteado, el titular del proyecto sería la Comisión Chilena de Energía Nuclear, el que –a su vez- debería participar de la evaluación como único organismo competente en la materia, informando sobre el cumplimiento o no de los requisitos para su otorgamiento y sus contenidos técnicos y formales, generándose una evidente incompatibilidad, más allá de que el permiso debe ser otorgado por intermedio del Ministerio de Energía.

Finalmente, debe observarse que el procedimiento de licenciamiento de depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares carece de una regulación específica, quedando entregado a las normas generales en materia de procedimiento administrativo. No se cuenta con instancias de información pública y participación ciudadana, salvo en lo relativo al procedimiento de evaluación ambiental. Estos requerimientos de trasparencia y participación son altamente necesarios, en particular, considerando que el proponente de este tipo de proyecto sería un ente público, relacionado con el Ministerio responsable de la autorización.

5. La estabilidad de la aprobación de un proyecto de planta nuclear en el marco de la legislación vigente

La finalidad de este acápite es determinar en qué medida la actual legislación de licenciamiento, si bien en la teoría permiten la generación núcleo eléctrica, es insuficiente.

Así, de acuerdo al literal d) del artículo 10 de la LBGMA *"constituyen actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, los reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas"*.

De ahí que sea un aspecto de suma relevancia analizar las consecuencia jurídicas que acarrea el ingreso de un proyecto de generación de energía nuclear al SEIA, sobre todo desde el punto de vista de la estabilidad del acto autorizatorio, cuya supuesta precariedad de un tiempo a esta parte ha sido puesta en el tapete de cualquier discusión que diga relación con nuestra institucionalidad ambiental.

La certeza jurídica, la protección ambiental y el acceso a la participación y justicia ambientales son elementos que deben equilibrarse especialmente en una materia tan riesgosa como la energía nuclear.

La certeza jurídica, que aquí nos ocupa, es un elemento fundamental para la adecuada toma de decisiones del inversionista, el cual como beneficiario de una RCA confía en la fuerza jurídica del acto administrativo en cuestión, confianza en el accionar coherente de la Administración que lo impulsa a realizar desembolsos cuantiosos o descartar otras empresas alternativas. Dada la magnitud de una inversión como la que comentamos, se hace indispensable aclarar el nivel de estabilidad de este título para el inversionista.

Y es que, el debate referido a las facultades de la Administración para introducir modificaciones en las condiciones bajo las cuales se autorizó originalmente el desarrollo de una actividad determinada, surge a propósito de la conceptualización de la RCA como una autorización de funcionamiento, toda vez que, a partir de su otorgamiento se crea una relación jurídica continuada entre la Administración y el sujeto autorizado[582], que implícitamente exige la permanente compatibilidad de la

[582] No resulta factible conceptualizar a la RCA, como, aquellas autorizaciones llamadas "simples", en las que la Administración se limita a remover los obstáculos para el ejercicio de un derecho, desinteresándose de la actuación de los autorizados, ni como una "autorización por operación", cuyo objeto es la realización de una actuación concreta y determinada, donde la relación entre la Administración y el sujeto autorizado se mantiene tan solo durante el tiempo que se emplea en la realización de la actividad autorizada, por lo que no crea un vínculo permanente entre ambos.

actividad autorizada con el superior interés público, más aún cuando el sistema de calificación ambiental dota a la Administración de amplias facultades valorativas para fijar condiciones de ejercicio de la actividad mediante la imposición de variadas medidas correctoras.

De manera que, se está en presencia de una relación de sujeción especial entre la Administración y el sujeto autorizado, que se evidencia en nuestro SEIA, tanto en la facultad de autorizar la RCA con condiciones[583], como en las distintas disposiciones de la LBGMA y del RSEIA que hacen referencia al seguimiento, monitoreo y fiscalización de los proyectos aprobados, y explica la posibilidad de poder incluso revocar la respectiva RCA como sanción por el incumplimiento de las normas o condiciones en virtud de las cuales se aprobó el proyecto, instrumentos que claramente tienen por objeto encauzar y, en cierto modo, dirigir la actividad del particular.

Lo anterior ha configurado un escenario que deja de lado poco a poco el típico principio de la intangibilidad de los actos declarativos de derechos, ante el cual existen voces de alerta que se concentran, particularmente, en el alcance de las facultades ex post que tiene la Administración respecto de este tipo de autorizaciones. Ello, porque de aceptarse la expansión ilimitada de los poderes de la Administración en esta materia, las RCA devendrían en posiciones jurídicas precarias sobre las cuales la Administración podría actuar sin limitación. En otras palabras, las RCA pasarían a devenir en relaciones permanentes de subordinación, con las consecuencias de incertidumbre que ello supone, más aún, considerando que el control administrativo, como jurisdiccional de la RCA tiene un límite preciso que corresponde, según ha insistido la Contraloría, a "aquellas situaciones jurídicas consolidadas sobre la base de la confianza de los particulares en la Administración", pues la seguridad jurídica amerita amparo, lo contrario, implica afectar los derechos de quienes legítimamente los han incorporado a sus patrimonios[584].

Es en consideración a lo señalado, y en respuesta a las demandas de mayor certeza jurídica, que el Proyecto de Ley que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, aprobado por el Congreso Nacional y que se encuentra a la fecha en conocimiento del Tribunal Constitucional, si bien reconoce la vocación de adaptación al interés general del título autorizatorio ya esbozada, enmarca el ejercicio de cada potestad en dicho sentido

[583] El Proyecto de Ley que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, incorpora un nuevo inciso 2° en el artículo 25 de la Ley 19.300, que restringe la discrecionalidad ejercida por la autoridad ambiental al momento de dictar la respectiva RCA, pues de ahora en adelante solo podrá imponer aquellas condiciones o exigencias solicitadas por los organismos sectoriales con competencia ambiental que hayan participado en el proceso de evaluación.

[584] Contraloría General de la República, Dictamen Nº 24.337 de 2002.

dentro de límites y reglas claras, y somete a aquel siempre a un control tanto preventivo, como a posteriori ante un Tribunal Ambiental, nuevo ente jurisdiccional de carácter garantista de los derechos de los sujetos autorizados, como a continuación revisaremos.

5.1. Revisión de RCA por impactos no previstos (artículo 25 quinquies de la ley 19.300)

El nuevo artículo 25 quinquies de la Ley 19.300, dispone que:

> "La Resolución de Calificación Ambiental podrá ser revisada, excepcionalmente, de oficio o a petición del titular o del directamente afectado, cuando ejecutándose el proyecto, las variables evaluadas y contempladas en el plan de seguimiento sobre las cuales fueron establecidas las condiciones o medidas, hayan variado sustantivamente en relación a lo proyectado o no se hayan verificado, todo ello con el objeto de adoptar las medidas necesarias para corregir dichas situaciones.
>
> Con tal finalidad se deberá instruir un procedimiento administrativo, que se inicie con la notificación al titular de la concurrencia de los requisitos y considere la audiencia del interesado, la solicitud de informe a los organismos sectoriales que participaron de la evaluación y la información pública del proceso, de conformidad a lo señalado en la ley Nº 19.880.
>
> El acto administrativo que realice la revisión podrá ser reclamado de conformidad a lo señalado en el artículo 20."

La facultad de revisión de la RCA se encuentra recogida como un mecanismo excepcionalísimo, en favor de la certeza jurídica, puesto que será procedente solo cuando concurran las siguientes circunstancias:

- Cuando las variables ambientales relevantes no han evolucionado según lo previsto en plan de seguimiento, y
- Únicamente con el propósito de adoptar las medidas necesarias para corregir esa situación.

En definitiva, esta nueva disposición incorpora la doble restricción que estableciera la Contraloría General de la República en su Dictamen N° 20.477 de 2003, para introducir modificaciones a las resoluciones de calificación ambiental. La procedencia restrictiva de esta revisión se hace aun más patente si se tiene presente que la redacción original del proyecto de ley consideraba que la Resolución de Calificación Ambiental podía ser revisada, cuando ejecutándose el proyecto, los hechos sobre los cuales fueron

establecidas las condiciones o medidas, han variado sustantivamente o éstos no se han verificado. El haber mantenido la redacción en dichos términos implicaba ampliar considerablemente la procedencia de este instrumento de control de legalidad del acto administrativo.

Esta atribución otorgada al Servicio de Evaluación Ambiental admite un control a posteriori por parte del Tribunal Ambiental ante el cual se podrá interponer una reclamación en contra de la resolución del Servicio de Evaluación Ambiental que revisa la resolución de calificación ambiental, de conformidad a lo señalado en el artículo 25 quinquies de la Ley N° 19.300[585].

5.2. Suspensión transitoria de RCA (letras g) y h) del artículo 3°)

Otro tema no menor, y que también fue objeto de discusión durante la tramitación del proyecto de ley, fueron aquellas atribuciones de la Superintendencia cuyo ejercicio tiene por objeto suspender temporalmente el titulo autorizatorio contenido en las resoluciones de calificación ambiental.

Es el artículo 3 de la Ley Orgánica de la Superintendencia, referido a sus funciones y atribuciones, el que contempla en sus literales g) y h) la facultad de suspender transitoriamente las autorizaciones de funcionamiento contenidas en las resoluciones de calificación ambiental, o adoptar otras medidas urgentes y transitorias para el resguardo del medio ambiente.

El primer supuesto, recogido en el literal g) de la norma en comento, dispone que será procedente la suspensión cuando la ejecución u operación de un proyecto o actividad genere un daño grave o inminente para el medio ambiente, a consecuencia del incumplimiento grave de las normas, medidas y condiciones previstas en dichas resoluciones. Mientras que, el segundo supuesto recogido en el literal h) de la norma en comento, dispone que será procedente la suspensión cuando la ejecución de los proyectos genere efectos no previstos en la evaluación y como consecuencia de ello se pueda generar un daño inminente y grave para el medio ambiente.

De igual modo estas atribuciones otorgadas a la Superintendencia del Medio Ambiente admiten tanto un control preventivo consistente en que dicho organismo deberá obtener la autorización previa del Tribunal Ambiental, como también quedan sujetas a un control a posteriori por parte del Tribunal Ambiental ante el cual se podrá interponer una reclamación en contra de la resolución que ordene la suspensión transitoria de una RCA o de la ejecución u operación de un proyecto, en los casos señalados en la letra g) y h) del artículo 3° de la Ley Orgánica Superintendencia[586].

[585] Proyecto de Ley que crea el Tribunal Ambiental, Artículo 17 N° 10.
[586] Proyecto de Ley que crea el Tribunal Ambiental, Artículo 17 N° 12.

5.3. Medidas provisionales (artículo 48)

La Ley Orgánica de la Superintendencia contempla también la facultad de este organismo para adoptar alguna o algunas de las siguientes medidas provisionales antes o durante el procedimiento sancionador a objeto de evitar un daño inminente al medio ambiente o a la salud de las personas:

- Medidas de corrección, seguridad o control que impidan la continuidad en la producción del riesgo o del daño.
- Sellado de aparatos o equipos.
- Clausura temporal, parcial o total, de las instalaciones.
- Detención del funcionamiento de las instalaciones.
- Suspensión temporal de la resolución de calificación ambiental.
- Ordenar programas de monitoreo y análisis específicos que serán de cargo del infractor.

Como se puede apreciar, la Ley Orgánica de la Superintendencia explicita las medidas provisionales, a diferencia de lo que acontece en el artículo 32 de la Ley de Bases del Procedimiento Administrativo, el cual si bien contempla la procedencia de éstas para asegurar la eficacia de la decisión del procedimiento administrativo, no dispone medidas en particular. Sin embargo, el único parámetro que establece la ley para decidir qué medida será procedente en cada caso, es la exigencia de que las medidas sean proporcionales a la infracción cometida y al mismo tiempo se consideren al adoptarlas, las mismas circunstancias establecidas para determinar la aplicación de sanciones.

De todas formas, el mayor cuestionamiento a la consagración de las medidas provisionales en cuestión, se enfocó en contra de la unilateralidad que involucraría la decisión de adoptar determinada medida por parte de la Superintendencia, pues aquello en opinión de algunos, constituiría un atentado a la garantía del debido proceso, resguardada por el artículo 19 N° 3, inciso 5° de la Constitución Política, toda vez que pondría en entredicho la bilateralidad de la audiencia[587].

En consideración a ello se estableció finalmente, que en el caso de adoptarse como medida provisional la clausura temporal de las instalaciones, la detención del funcionamiento de las instalaciones o la suspensión temporal de la RCA, la

[587] Opinión de Arturo Fermandois, Profesor de Derecho Constitucional de la Pontificia Universidad Católica de Chile, respecto de constitucionalidad del Título III del proyecto de ley que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, durante su discusión general.

Superintendencia deberá obtener la autorización previa del Tribunal Ambiental[588]. Esta autorización deberá obtenerse por la vía más expedita posible, incluida la telefónica, de alguno de sus ministros, según la regla de turno que se determine mediante auto acordado, que deberá contemplar un titular y un suplente. En tal caso, se entregará al propietario o encargado un certificado que indique la medida adoptada, la individualización del instructor del procedimiento y de aquel juez que lo hubiere ordenado, dejando copia de dicho certificado en el expediente sancionatorio.

5.4. Aplicación de sanciones (artículo 38)

En lo que respecta a la previsión de las sanciones aplicables a las infracciones previstas en la Ley Orgánica de la Superintendencia, éstas corresponden a las siguientes:

- Amonestación por escrito.
- Multa de una a diez mil unidades tributarias anuales.
- Clausura temporal o definitiva.
- Revocación de la Resolución de Calificación Ambiental.

Tanto para la aplicación de la clausura temporal o definitiva, como para la revocación de la RCA, en consideración a los compromisos asumidos en el Protocolo de Acuerdo del proyecto de ley[589] que perseguían el perfeccionamiento de las normas de intervención de la Superintendencia de Medio Ambiente, y por la gravosidad que involucran para los titulares de los proyectos, se estableció el trámite de consulta obligatoria como control a posteriori, que implica que la resolución que las contenga deberá siempre ser elevada en consulta al Tribunal Ambiental[590].

5.5. Requerimiento de caducidad (letra l) artículo 3°)

El nuevo artículo 25 ter de la Ley 19.300, dispone que:

> "La resolución que califique favorablemente un proyecto o actividad caducará cuando hubieren transcurrido más de cinco años sin que se haya iniciado la ejecución del proyecto o actividad autorizada, contado desde su notificación.

[588] Proyecto de Ley que crea el Tribunal Ambiental, Artículo 17 N° 5.
[589] El texto original del Proyecto de Ley que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, experimentó una serie de cambios en función del Protocolo de Acuerdo; suscrito el 26 de octubre de 2009, entre los Senadores de los partidos de la Concertación Democrática, de la Coalición por el Cambio y los independientes que lo suscribieron, y el Poder Ejecutivo; el cual tuvo básicamente por objeto agilizar la tramitación del proyecto en cuestión.
[590] Proyecto de Ley que crea el Tribunal Ambiental, Artículo 17 N° 5.

> El Reglamento deberá precisar las gestiones, actos o faenas mínimas que, según el tipo de proyecto o actividad, permitirán constatar el inicio de la ejecución del mismo."

Lo anterior implica e impone la obligación de ejecutar el proyecto dentro del plazo de 5 años desde la notificación de la RCA, pues de lo contrario esta se extinguirá. Sin embargo el solo transcurso del tiempo no será suficiente para que se configure esta causal de extinción del acto administrativo autorizatorio, no operando de pleno derecho, sino que, de conformidad a la letra l del Art. 3 de la LOC de la Superintendencia será necesario que el Servicio de Evaluación Ambiental la declare.

5.6. Nuevo control jurisdiccional de la RCA

Las objeciones efectuadas en contra del ejercicio conjunto de facultades fiscalizadoras y sancionatorias por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente, condujeron, como ya bien lo señalamos en otro apartado, a la suscripción de un Protocolo de Acuerdo, cuyo contenido principal y que condicionó a fin de cuentas la rápida tramitación y aprobación del Proyecto de Ley que crea el Ministerio, Servicio de Evaluación Ambiental y Superintendencia del Medio Ambiente, fue el compromiso de contar con una instancia de control jurisdiccional de los actos de la Superintendencia, distinta a los tribunales ordinarios de justicia, que se materializó el pasado 3 de noviembre con el ingreso al Congreso del proyecto de ley que crea el Tribunal Ambiental[591].

Nuestra doctrina, como la mayoría de los pronunciamientos de los tribunales de justicia, siempre han mantenido cierta deferencia con la Administración en materia ambiental, estimando que ésta posee un derecho preferente de apreciación, valoración o juicio (discrecionalidad cognitiva), en consideración a su dominio y manejo de un gran volumen de información compleja o de conocimientos, métodos y criterios técnicos, científicos y de otra índole (no jurídicos), o porque demanda la ponderación con criterios no jurídicos de una gran diversidad de intereses. Lo anterior se ha traducido en un específico apoderamiento de la Administración para valorar y, por tanto, apreciar o enjuiciar si concurre o no lo dispuesto en las distintas normas de carácter ambiental, generando con ello una mayor restricción - en cuanto al fondo - del control judicial, cuya consecuencia para el juez es doble:

[591] El Tribunal Ambiental constituye un ente jurisdiccional especial e independiente, que se encuentra bajo la Superintendencia directiva, correccional y económica de la Corte Suprema, al cual el legislador le atribuye competencias contencioso administrativas de carácter ambiental. Es decir corresponde a un órgano ajeno a la administración pública (activa), independiente del Poder Ejecutivo. En consideración a ello podemos equiparar su naturaleza jurídica a aquella que posee el Tribunal de Defensa de la Libre Competencia o el Tribunal de la Contratación Administrativa.

- La necesaria aceptación de la decisión tomada por la Administración y su no sustitución por un juicio propio.
- La exigencia del respeto de los argumentos o motivaciones administrativos que superen el test de "razonabilidad", es decir, que no sean concluyentemente rebatibles en términos estrictamente jurídicos.

En cambio, de ahora en adelante, con la creación del Tribunal Ambiental dichas limitaciones en principio no existirían, toda vez que el artículo 27 del proyecto de ley que crea dicho ente jurisdiccional especializado define un mayor estándar de revisión de los actos administrativos a cargo de jueces especializados, comprendiéndose que aquellos podrán enjuiciarlos plenamente, tanto desde la perspectiva del derecho como de los hechos, e incluso en sus sentencias podrán sustituir la decisión contenida en el respectivo acto administrativo objeto de control en la parte que corresponda, admitiéndose en definitiva el que los jueces podrán de ahora en adelante ponderar la arbitrariedad del obrar de la Administración.

De acuerdo a lo ya señalado, podemos agregar a modo de conclusión que el nuevo marco jurídico dentro del cual se desarrollará el otorgamiento de las RCA, y que en la práctica determinará el como se ejecutarán los proyectos de inversión en nuestro país desde la perspectiva ambiental, entre ellos los de eventuales plantas de energía nuclear, efectúa un reconocimiento expreso de dichos actos administrativos como autorizaciones de funcionamiento, al otorgar a la autoridad administrativa una serie de atribuciones, que como ya bien revisamos, persiguen la permanente compatibilidad de la actividad autorizada con el superior interés público.

6. Síntesis de vacíos y contradicciones del licenciamiento nuclear en el derecho chileno en relación al derecho comparado.

Previamente examinamos el tema del licenciamiento nuclear en el Derecho Comparado y en los Tratados Internacionales, para luego exponer el Derecho Nacional, según etapas del ciclo de vida nuclear.

Conforme a los principales modelos y alternativas identificados en el Derecho Comparado, y a las disposiciones de la Convención de Seguridad Nuclear, a continuación sintetizamos los vacíos y contradicciones del Derecho Nacional identificados en la sección anterior. En primer lugar precisaremos estos vacíos y contradicciones en relación con la Convención de Seguridad Nuclear para luego hacer lo mismo respecto de los principales modelos comparados.

6.1. Vacíos y contradicciones de nuestra legislación en materia de licenciamiento en relación con la Convención de Seguridad Nuclear

La Convención de Seguridad Nuclear, suscrita en Viena en 1994, y cuyo decreto promulgatorio N° 272/97 del Ministerio de Relaciones Exteriores fuese publicado en el Diario Oficial el 3 de junio de 1997, entrega pautas mínimas de implementación de cualquier sistema de licenciamiento referido a seguridad nuclear, de ahí que su cotejo con nuestra Ley N° 18.302 de Seguridad Nuclear, principal norma regulatoria de la materia, resulta fundamental para cualquier análisis enfocado a determinar las falencias de nuestra actual legislación.

En dicho sentido, revisaremos en qué condiciones damos cumplimiento a su artículo 7 N° 2, referido al marco legal y reglamentario, que señala que éste deberá prever el establecimiento de

> *i)* "*los requisitos y las disposiciones nacionales aplicables en materia de seguridad;*
> *ii)* *un sistema de otorgamiento de licencias relativas a las instalaciones nucleares, así como de prohibición de la explotación de una instalación nuclear carente de licencia;*
> *iii)* *un sistema de inspección y evaluación reglamentarias de las instalaciones nucleares para verificar el cumplimiento de las disposiciones aplicables y de lo estipulado en las licencias;"*

En lo que respecta al punto ii) de la disposición en comento, podemos señalar que de la sola lectura de la Ley N° 18.302 de Seguridad Nuclear, como ya bien lo hemos señalado en otros apartados de este informe, se evidencia el cumplimiento de dicho requerimiento, toda vez que el artículo 4 de dicho cuerpo legal contempla un sistema de licenciamiento para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

Sin embargo, donde podemos identificar un distanciamiento de nuestro marco normativa con el instrumento internacional ya individualizado, es en lo que se refiere al requerimiento del punto i), que exige contar explícitamente con los requisitos y las disposiciones aplicables en materia de seguridad. Efectivamente, contamos con la Ley N° 18.302 que trata la materia, pero su regulación es insuficiente e incompleta, particularmente en lo que dice relación con los requisitos y consideraciones que deberá tener en cuenta la autoridad respectiva para otorgar un determinado título autorizatorio. En la actualidad no existe disposición alguna en la ley al respecto, sino solo exigencias genéricamente previstas en su texto, así por ejemplo:

> Artículo 4° inciso 1°: *"… se necesitará autorización de la Comisión, con las formalidades y en las condiciones que se determinan en esta ley y en sus reglamentos."*
>
> Artículo 4° inciso 2°: *"Para el otorgamiento de dichas autorizaciones deberán considerarse, en todo caso, las condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación."*
>
> Artículo 13 inciso 1°: *"Las licencias o autorizaciones no podrán revocarse, suspenderse ni modificarse, salvo por causa prevista en el acto de su otorgamiento o por incumplimiento de las condiciones y exigencias impuestas en ellas, en la ley o en los reglamentos".*
>
> Artículo 20 N° 2: *"El cumplimiento de las condiciones y de las exigencias fijadas en las autorizaciones concedidas."*

Al escenario anterior, debemos sumar la inexistencia de regulación reglamentaria de la materia, rigiéndose en la actualidad la CCHEN por la Norma NCS-GG-02, que establece Procedimientos de Licenciamiento de Instalaciones Nucleares o Radiactivas de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, cuyo ámbito de aplicación, según ella misma establece, son todos los proyectos de instalaciones nucleares o radiactivas, y que básicamente norma un procedimiento de evaluación, el que aún cuando se refiere a la fase de diseño de un proyecto, pueden ser aplicado a cualquier otra fase del licenciamiento, con las modificaciones adecuadas.

Es de conocimiento del consultor que esta norma se encuentra en proceso de revisión[592], mas no cabe sino examinar aquella que esta vigente. Al revisar la Norma NCS-GG-02, nuevamente nos encontramos con una serie de exigencias genéricas respecto al tema que nos interesa, las que se formulan de la siguiente manera:

> *5.1.7. "En caso de que las medidas a implementar merecieran objeciones por parte del Encargado de Proyecto, éste devolverá el informe al jefe del DSNR, con las observaciones pertinentes."*
>
> *5.1.14. "El Encargado de Proyecto ordenará aplicar las medidas de seguridad nuclear o protección radiológica aprobadas."*
>
> *5.3.15. "El Encargado de Proyecto ordenará incluir las restricciones operacionales en el Manual de Límites y Condiciones según lo establecido en la resolución".*

[592] Información obtenida en reunión en CCHEN el día 24 de enero de 2010 con don Mauricio Lichtemberg.

Las disposiciones mencionadas, tanto de la Ley N° 18.302, como aquellas de la Norma NCS-GG-02, nos evidencian que el régimen jurídico de la actividad nuclear en nuestro país se ve crecientemente determinado por la propia autorización. Esta tendencia implica el desplazamiento del centro de gravedad de la norma al acto administrativo y la desregulación de la actividad. De ahí que debamos hacer una interpretación estricta de la posibilidad de que la Administración defina en la propia autorización el régimen jurídico de la actividad, que – sobre todo – debe estar contenido en la norma, pues en un Estado de Derecho, la ley, no la Administración, debe trazar las condiciones y límites del ejercicio de determinada actividad[593].

De la revisión de los preceptos revisados en este acápite, cabe concluir claramente que las condiciones que se establezcan en las respectivas autorizaciones operan no como condiciones suspensivas, sino como resolutorias en caso de inejecución de las medidas correctoras establecidas en el otorgamiento de la licencia; siendo este carácter de la condición el que explica que la autorización en nuestro ordenamiento jurídico constituye un acto previo, y la comprobación de tales medidas una diligencia a practicar a posteriori. En dicho sentido las medidas correctoras a adoptar deber ser establecidas de manera concreta, ya que la indeterminación o falta de definición del alcance de dichas medidas hacen que el condicionamiento no sea idóneo para alcanzar el fin que persigue la propia norma al configurar la licencia.

Ahora, en relación al requerimiento contenido en el punto iii) del N° 2 del artículo 7 de la Convención de Seguridad Nuclear, referido a la verificación del cumplimiento de las disposiciones aplicables y de lo estipulado en las licencias; en la practica implica que en caso de que se produzca un cambio sustancial de la actividad autorizada, el interesado deberá presentar una nueva solicitud. Esto se debe a que se necesita una nueva autorización, o una ampliación de la existente, para la extensión de la actividad a ámbitos no cubiertos por el primitivo título habilitante, lo que se encuentra evidentemente recogido en los preceptos ya mencionados, a los cuales podemos sumar las siguientes disposiciones de la Ley 18.302 que terminan por estructurar dicha consecuencia jurídica:

> Artículo 33, "Corresponde a la Comisión conocer y sancionar las infracciones de las normas legales y reglamentarias sobre seguridad y protección nuclear, y el incumplimiento de las condiciones y exigencias de las autorizaciones que otorga o de las instrucciones y medidas que adopta."

[593] La necesidad de que la Administración concrete en cada autorización exigencias genéricamente definidas en la norma nos lleva al ámbito de los conceptos jurídicos indeterminados, cuya aplicación deja un no despreciable margen de apreciación a la Administración, que ha de definir en cada caso las condiciones de compatibilidad de la actividad.

> Artículo 34, "La Comisión podrá imponer una o más de las sanciones siguientes por la Comisión de los hechos señalados en el artículo anterior:
> 1.- Multa, a beneficio fiscal, por el valor de diez a diez mil unidades de fomento, según la gravedad de la infracción o incumplimiento.
> 2.- Suspensión de la autorización para cualquier actividad relacionada con la energía nuclear y los materiales nucleares, hasta por un año.
> 3.- Revocación definitiva de la autorización."

La vinculación del acto autorizatorio a las condiciones que determinaron su otorgamiento debe tener como contrapartida el deber de adaptación en caso que la modificación del régimen de la actividad se produzca por la aprobación de una nueva normativa, por la alteración de las circunstancias bajo las cuales se otorgó o por la operatividad de una cláusula de progreso que imponga el deber de realizar la actividad aplicando la mejor técnica disponible.

Sin embargo, no es posible identificar dicho deber de adaptación en los cuerpos normativos revisados. Es por ello que sostenemos que se requiere su consagración legal, pues en consideración a la naturaleza y duración de la actividad que se desarrollará resulta necesario incorporar dichos supuestos. Si bien estos supuestos pueden implicar una flexibilización de las licencias y ser percibidos como amenaza a la certeza jurídica, la claridad de sus calificaciones jurídicas constituirá una garantía del principio de confianza legitima, toda vez que la ley deberá ser la encargada de delimitar dicho deber de adaptación, de manera que éste no se extienda a aquellos cambios que representen una alteración de las condiciones iniciales de tal magnitud que, de hecho, no le resulte posible al sujeto autorizado proseguir con el normal desarrollo de la actividad.

6.2. Vacíos y contradicciones de nuestra legislación en materia de licenciamiento en relación con el Derecho Comparado

6.2.1. Aspectos generales

6.2.1.1. En cuanto al licenciamiento de seguridad nuclear

En Chile no existe una normativa especial que regule de manera detallada y clara el licenciamiento de un proyecto de generación núcleo-eléctrica. Sin embargo, es claro que, mal o bien, el legislador ha previsto la posibilidad del licenciamiento de una central nuclear de potencia. Si bien la Ley de Seguridad Nuclear, en su artículo 4, establece expresamente la obligación de obtener autorización de parte de la autoridad competente para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre

y desmantelamiento de centrales nucleares de potencia[594], **no hay claridad respecto a si se ha optado por un modelo de licenciamiento por etapas o uno de carácter general** que incluya más de una o todas ellas, si bien, existen indicios que apuntan en el sentido de que el legislador pensó en un régimen de licenciamiento por etapas[595].

Asimismo, la Ley de Seguridad Nuclear **no establece en forma específica los requisitos y condiciones de dicha autorización**, limitándose a señalar, que aquéllas deberán considerar, en todo caso, las condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación[596]. **Tampoco existe un reglamento** que especifique dichos requisitos y condiciones ni detalle el procedimiento a seguir[597].

La falta de precisión de las condiciones y requisitos de las licencias en materia de energía nuclear, tanto a nivel de seguridad radiológica y física, como a nivel de las condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación, deja abierto un **amplio margen de discrecionalidad de parte de la autoridad licenciante**.

Tampoco existen mecanismos especiales de impugnación de la decisión que adopte la autoridad nuclear, sea en sede administrativa, sea en sede jurisdiccional.

Adicionalmente, fuera del ámbito de la evaluación ambiental, **no existen mecanismos ni instancias efectivas que permitan la participación informada de la comunidad afectada**.

---

[594] De acuerdo al artículo 4 de la Ley Nº 18.302, el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento de centrales nucleares de potencia, plantas de enriquecimiento, plantas de reprocesamiento y depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos, deberán ser autorizados por decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía.

[595] En efecto, el artículo 3 Nº 12 de la Ley de Seguridad Nuclear define autorización como la "*licencia o permiso otorgado por la Comisión, a petición de un solicitante, para que éste pueda* ***ejecutar actividades específicas****, relativas a la energía nuclear,* ***en instalaciones nucleares o con sustancias nucleares***". Por su parte, la Historia de la Ley Nº 18.302 da cuenta de que, al menos, se habría estimado el emplazamiento de instalaciones nucleares, para el que se requiere autorización de acuerdo al artículo 4, como una "***determinación previa*** *del lugar físico donde se construirá*" (Informe de la Primer Comisión Legislativa de la Junta de Gobierno de 4 de noviembre de 1983).

[596] La misma condición es reiterada por el artículo 82 del Reglamento del SEIA, que regula el permiso ambiental sectorial para este tipo de instalaciones nucleares.

[597] En el Informe Técnico que acompañaba el Mensaje del Proyecto de Ley de Seguridad Nuclear (1982) se indica que, en materia de licencias, el texto legal propuesta pretende sentar "*precedentes básicos que serán* ***complementados por un reglamento de autorizaciones***". Por su parte, el propio artículo 4 indica que las formalidades y condiciones para la autorización son las que se determinan en la Ley de Seguridad Nuclear "***y en sus reglamentos***". Hasta la fecha, ninguno de los reglamentos dictados se refiere a la materia.

En este escenario, dada la carencia de normativa especial en materia de licenciamiento en la Ley de Seguridad Nuclear, a falta de otra regulación, **debe aplicarse supletoriamente el procedimiento de licenciamiento la Ley Nº 19.880**, sobre Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de la Administración del Estado, que fija normas básicas al efecto. Sin embargo, esa normativa **no es suficiente para las particularidades que exigiría un procedimiento de esta naturaleza**, que además de su especificidad técnica en relación los riesgos que involucra la actividad tanto para la vida y salud humana, el medio ambiente y la propiedad, exige un alto grado de transparencia, información pública e instancias de participación ciudadana.

6.2.1.2. Evaluación de Impacto Ambiental: impactos y riesgos

Del mismo modo, así como es claro que la Ley de Seguridad Nuclear contempla la posibilidad del licenciamiento de una central nuclear de potencia, también es claro que conforme a la Ley 19.300 y al Reglamento del SEIA, se trata de un tipo de proyecto que debe ingresar al sistema de evaluación de impacto ambiental, y que requiere de un permiso ambiental sectorial, el "PAS 82". Sin embargo, el que se trate de un PAS hace que la autorización nuclear dependa de la autorización ambiental y la ata eventualmente a un esquema de triple licenciamiento, en contradicción con lo señalado[598].

Adicionalmente, podemos identificar como un vacío el que en nuestro sistema no exista una distinción clara entre evaluación de impacto y evaluación de riesgo. En efecto, el SEIA está concebido en su lógica, para evaluar impactos ambientales, y no riesgos. Es así como la Ley 19.300 define en su artículo 2º la Evaluación de Impacto Ambiental como *"el procedimiento, (…), que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes",* definiendo a su vez el impacto ambiental como *"la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada"*.

De ello se desprende que el SEIA busca limitar los impactos ambientales a lo permitido por la ley. Es decir se reconoce que un proyecto genera un impacto ambiental el que se trata de ajustar al ámbito de lo permitido, presentando el titular medidas para mitigar, o compensar dicho impacto.

Sin perjuicio de ello, el riesgo a la salud de las personas es considerado un factor de ingreso al SEIA por la modalidad de estudio. Es así como el art. 11 de la Ley Nº19.300 señala que:

[598] Esto se aborda en las propuestas normativas.

> *"Los proyectos o actividades enumerados en el artículo precedente requerirán la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, si generan o presentan a lo menos uno de los siguientes efectos, características o circunstancias: a) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos (…).* Del mismo modo, un estudio de impacto ambiental debe contener "*Una predicción y evaluación del impacto ambiental del proyecto o actividad, incluidas las eventuales situaciones de riesgo*". Por su parte, la Ley 20.417, que crea el Ministerio y el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, modifica la Ley 19.300 agregando en su articulo 12 la letra d) que *"Cuando el proyecto deba presentar un Estudio de Impacto Ambiental por generar alguno de los efectos, características o circunstancias señaladas en la letra a) del artículo 11, y no existiera Norma Primaria de Calidad o de Emisión en Chile o en los Estados de referencia que señale el Reglamento, el proponente deberá considerar un capítulo específico relativo a los* ***potenciales riesgos*** *que el proyecto podría generar en la salud de las personas."*

A pesar de ello, no existe una metodología para evaluar los riesgos en el contexto del SEIA ni para el seguimiento de las medidas de prevención en la verificación del cumplimiento de una RCA. Si bien ocurre que en el SEIA se evalúen riesgos, sus operadores reconocen que no está concebido para ello y que no hay metodologías adecuadas en la evaluación.

El riesgo, a diferencia del impacto, tiene que ver con una contingencia que puede ocurrir, pero no debe necesariamente verificarse. La evaluación de riesgo propia de una licencia nuclear dice relación con la definición de accidentes modelos o tipos, que se proyectan y frente a los cuales se adoptan las medidas para evitar o minimizar el daño a las personas y al ambiente[599].

Existe entonces una dificultad en cuanto a los riesgos ambientales de un proyecto de central núcleo-eléctrica, en el sentido que no es posible determinar y distinguir a priori cual sería el ámbito de competencia y evaluación de un proyecto en el marco del SEIA respecto de la licencia nuclear propiamente tal, ya que ello no está normado.

6.2.2. Licenciamiento de actividades extractivas

La legislación nacional carece de normas en relación a la necesidad de licenciamiento de faenas extractivas de minerales radiactivos. Incluso, podría sostenerse que la

[599] Entrevista con Mauricio Lichtemberg, CCHEN, 24/01/10.

intención del legislador fue extraer el ámbito de las actividades extractivas del licenciamiento nuclear[600].

Sólo a propósito de las medidas de seguridad para los trabajadores en estas faenas, en particular, en cuanto a la exposición a materiales radiactivos, el Reglamento de Seguridad Minera se remite a las normas nacionales que dicte la CCHEN. No obstante, podría considerarse vigente, en esta parte, el Reglamento de Licencias de la CCHEN (D.S. Nº 323/74, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción), que rige "la concesión de licencias, a las entidades civiles, para desarrollar actividades relacionadas con materiales fértiles, fisionables y radiactivos", que sólo podría estimarse tácitamente derogado por el D.S. Nº 133/74, del Ministerio de Salud, en lo relativo a las fuentes generadoras de radiaciones ionizantes

6.2.3. Licenciamiento de la Importación de Sustancias Nucleares

La única disposición que regula esta materia es el artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear, que se limita a indicar que el ingreso o tránsito por el territorio nacional, zona económica exclusiva, mar presencial y espacio aéreo nacional de sustancias nucleares o materiales radiactivos requiere autorización del Consejo Directivo de la CCHEN. No obstante, no existen otras normas que fijen los requisitos para obtener dicha autorización ni el procedimiento que ha de seguirse para ello[601].

6.2.4. Licenciamiento del Transporte de Sustancias Radiactivas

El Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radiactivos, D.S. Nº 12/85, del Ministerio de Minería cumple con los requerimientos básicos de la legislación comparada y los tratados internacionales, contemplando una regulación detallada de las condiciones necesarias para el otorgamiento de una autorización específica,

[600] En efecto, en el proyecto original de la Ley Nº 18.302, se sujetaba a "*todas las actividades relacionadas con instalaciones nucleares o radiactivas, materiales nucleares, radiactivos o materiales fuentes y, en general cualquier actividad relacionada con los usos pacíficos de la energía nuclear*" a las disposiciones de la ley, a los reglamentos dictados conforme a ella "*y a las condiciones especificadas en cada autorización*" (artículo 5). Asimismo, se establecía que no se podría efectuar actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear, tales como obtener, tratar y producir materiales radiactivos, por personas naturales o jurídicas que no estén debidamente autorizadas para ello (artículo 15). Estas disposiciones generaron dudas de constitucionalidad a la Secretaría de Legislación de la Junta de Gobierno. En su informe respecto del proyecto de ley, expresa que "*en la medida que los 'materiales radiactivos' y los 'combustibles nucleares' se obtuvieran mediante la extracción y apropiación de sustancias que son objeto de una concesión minera, la privación de las facultades de iniciar o continuar la exploración, extracción y apropiación de dichas sustancias, constituiría una forma de expropiación*" (Informe de la Secretaría de Legislación de la Junta de Gobierno, 13 de diciembre de 1982). En definitiva, se eliminaron las disposiciones citadas.

[601] Únicamente, cabe considerar algunas disposiciones del Reglamento de Transporte Seguro de Materiales Radiactivos que se refieren a formalidades aduaneras.

otorgada por un organismo técnico especializado, así como de las notificaciones que deben efectuarse a las autoridades competentes. No obstante, este reglamento no contempla disposiciones que regulen el procedimiento que debe seguirse para obtener dicha autorización.

6.2.5. Licenciamiento del Emplazamiento

En primer término, no existe claridad respecto a si el artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear se refiere a la autorización para el emplazamiento de una central nuclear de potencia como una licencia específica y autónoma. La historia fidedigna del establecimiento de este cuerpo ley apunta a entender que la referencia al emplazamiento en el artículo 4 corresponde a la necesidad de determinar, en forma previa, la localización de la instalación nuclear. Sin embargo, como en el resto de las actividades sujetas a licenciamiento, la regulación existente no específica las formalidades y condiciones bajo las cuales se otorgará la autorización.

Adicionalmente, cabe observar que esta autorización quedaría entregada, en el caso de centrales nucleares de potencia, a la dictación de un "decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía", radicando al más alto nivel la decisión. No obstante, no está claro si el emplazamiento está condicionado por la normativa urbanística, y en tal sentido, cómo se compatibiliza la decisión de la autoridad nuclear con las autorizaciones que podrían corresponder en el ámbito urbanístico.

6.2.6. Licenciamiento de la Construcción, Ejecución, Operación y Desmantelamiento.

Nuevamente, si bien contempla expresamente la necesidad de contar con autorización para la "construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento" de centrales nucleares de potencia, el artículo 4 de la Ley de Seguridad Nuclear resulta insuficiente, atendido que no se han fijado las formalidades y condiciones bajo las cuales se adoptará la decisión, ni el procedimiento para tramitar la solicitud, como ocurre en el Derecho Comparado en aquellos países en los que existe un programa nuclear.

Otro tanto cabe indicar respecto de las condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación, las que quedan indeterminadas tanto a nivel de la legislación nuclear, como de la ambiental, ni cuales son consideradas impactos y cuales riesgos.

Tampoco está claro –como se ha insistido antes- si se está frente a un sistema de triple licenciamiento, que distinga en diversos procesos autorizatorios de carácter sucesivo,

la construcción de la operación y ésta del cierre o desmantelamiento, o incluso, la puesta en servicio de la operación.

Finalmente, nuestro sistema no define el plazo de duración de la autorización; no se pronuncia sobre la posibilidad de renovación; su fiscalización y revisión se limita al control de las condiciones determinadas en el acto de su otorgamiento. El título autorizatorio carece de la suficiente flexibilidad, en la legislación actual, para adaptarse a los cambios tecnológicos.

6.2.7. Licenciamiento del Almacenamiento y Disposición Final de Desechos Radiactivos

Si bien la Ley de Seguridad Nuclear se refiere expresamente a la autorización de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos, no contempla el caso de las instalaciones de almacenamiento transitorio, quedando la duda de si requieren o no de licencia[602].

Por otra parte, correspondiendo a la CCHEN la mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radiactivos de larga vida, surge la interrogante respecto a una eventual incompatibilidad para dicho organismo en el ejercicio de las funciones de fiscalización y control, así como respecto de su carácter de organismo con competencia ambiental en el marco del SEIA[603].

Por último, se reitera en este caso la ausencia de regulación específica para las formalidades y condiciones de otorgamiento de la licencia, así como del procedimiento a seguir para tramitar las respectivas solicitudes. Únicamente, cabe considerar como condición para el otorgamiento de la autorización lo dispuesto en el artículo 9 de la Ley Nº 18.302, en el sentido de que el almacenamiento de sustancias nucleares o materiales radiactivos no debe ser efectuado en conjunto con otras sustancias peligrosas, sean combustibles, inflamables, corrosivos o explosivos.

6.3. Conclusiones preliminares

Tal como se indicó en la sección precedente, los vacíos y contradicciones detectados generan problemas de certeza jurídica y de desprotección.

---

602 De acuerdo a lo expresado por el artículo 3 Nº 9, no sería posible enmarcar los depósitos de almacenamiento transitorio dentro del concepto de 'instalación nuclear', que sólo se refiere al almacenamiento permanente de sustancias nucleares (entendiendo comprendidos dentro de estas sustancias a los desechos radiactivos, de acuerdo al artículo 3 Nº 7 c) de la Ley Nº 18.302).

603 En lo que respecta a la autorización propiamente tal, tal incompatibilidad estaría salvada por el hecho de que este tipo de instalaciones deben ser autorizadas por decreto supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Energía.

Por otra parte, al no existir mecanismos de participación ciudadana ni de transparencia en el licenciamiento nuclear, nuestro esquema se presta para una lógica de alta conflictividad que puede vislumbrarse si el día de mañana un proyecto de central núcleo-eléctrica es sometido a evaluación y autorización sin mediar reformas importantes. En ese esquema, podríamos encontrarnos con una decisión política dejada en manos de los encargados de la gestión de los instrumentos de gestión ambiental o del regulador nuclear, si es que no de las autoridades locales.

Es necesario entonces diferenciar claramente la política de la gestión de los instrumentos, así como diferenciar el riesgo del impacto.

VII. INCORPORACIÓN Y GESTIÓN DEL MANEJO DE DESECHOS, DESMANTELAMIENTO Y REPOSITORIO Y SU INCORPORACIÓN EN EL MARCO LEGAL ELÉCTRICO COMO COMPONENTE TARIFARIO EN EL DERECHO COMPARADO

1. Introducción

La opción nuclear necesita fundarse sobre la certeza de contar con los recursos financieros necesarios para asumir los costos asociados a la gestión de desechos nucleares generados durante todo el ciclo de vida de la instalación del reactor nuclear, incluido el desmantelamiento.[604]

En todas las legislaciones analizadas en el presente estudio, destaca la aplicación del *principio del que contamina paga* en la gestión de desechos radiactivos.

Este principio se materializa a través de la obligación de los generadores de tales desechos nucleares y en el caso del desmantelamiento, del explotador de la planta, de aportar con los recursos financieros necesarios para costear la gestión de los residuos radiactivos y el desmantelamiento de la planta nuclear, respectivamente. Esta exigencia se establece por ley, como en el caso de Alemania o en el permiso de explotación de la instalación, en otros casos, para lo cual se prevé en general la constitución de un fondo, a veces reemplazada por garantías financieras, sobre todo en el caso del desmantelamiento. En este sentido, la *Cour de Comptes* de Francia destaca la necesidad de inspirar la gestión de los desechos radiactivos durante todo el ciclo de vida incluido el desmantelamiento, del principio de equidad entre las generaciones. Lo anterior plantea la necesidad de no hacer asumir a los consumidores o contribuyentes de mañana, el pago de las cargas financieras ya cobradas a los consumidores de ayer o de hoy.[605]

También el principio del que contamina paga encuentra aplicación a través de la exigencia de constituir garantías o regímenes de responsabilidad, establecida por ciertas legislaciones en miras a resguardar las eventuales diferencias entre la provisiones efectuadas por los generadores de desechos nucleares y por el explotador de la planta y las cargas reales asumidas para la gestión de desechos nucleares. En Finlandia por ejemplo, las compañías eléctricas deben proveer las garantías necesarias para cubrir la diferencia entre los activos del fondo y los gastos finales. En Suiza, por su parte, se establece una responsabilidad solidaria de los generadores de desechos nucleares, cubierta por depósitos complementarios. Otros mecanismos de garantía han sido implementados también en Bélgica. En el caso de Estados Unidos, la

[604] Cour des Comptes, Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs, 2006, p. 129.
[605] *Ibidem*, p. 207.

autoridad de reglamentación exige que una sociedad que explota un reactor clásico de agua bajo presión disponga de al menos 164 millones de dólares (valor 2000) para desmantelar un reactor.[606]

En esta perspectiva el financiamiento de la gestión de desechos radiactivos y del desmantelamiento de instalaciones nucleares plantea ciertas interrogantes comunes a todas las legislaciones:[607]

- ¿El generador de desechos tendrá la capacidad financiera de responder a sus obligaciones económicas, a la complejidad y duración de las operaciones técnicas, al carácter no probado de ciertas tecnologías y a la ausencia de una experiencia significativa en la materia?

- ¿Es necesario prever un financiamiento capaz de enfrentar la insolvencia o la desaparición del generador de desechos?

- ¿Quién o qué generación debe soportar el costo del financiamiento de la gestión de desechos radiactivos y desmantelamiento de la planta?

Los países han dado diversas respuestas al respecto, sin embargo es posible afirmar que la mayoría ha optado por la creación de fondos de financiamiento para la gestión de desechos radiactivos y fondos, cuentas, garantías y/o seguros para el caso del desmantelamiento de la planta. En este sentido, se debe precisar que ciertos países cuentan con un fondo único para asegurar el financiamiento global de todas las actividades incluidas en la gestión, repositorio y desmantelamiento de las plantas nucleares, como es el caso de Argentina, Brasil y República Checa. Otros sin embargo, cuentan con un fondo dedicado a cada una de las operaciones, como es el caso de Suiza, Bélgica, Estados Unidos y Canadá. También existen fondos de financiamiento destinados a otros fines, como es el caso del fondo belga constituido para asumir los costos de estas actividades en caso de quiebra o insolvencia de la central nuclear.

La constitución de fondos de financiamiento puede a su vez ser de tipo progresiva o inmediata. En el primer caso, el fondo se forma con los aportes anuales entregados por los generadores de residuos nucleares y explotadores de la planta, durante el periodo de tiempo de operación de la misma. La constitución inmediata supone al contrario, que el fondo debe, en todo momento, cubrir los gastos de la gestión de los residuos nucleares y en caso de cierre de la planta, del desmantelamiento. Para este

606 OCDE/AEN, Déclassement et démantèlement d'installations nucléaires. Etat des lieux, démarche, défis. [s.p.]

607 Cour des Comptes, Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs. Rapport au Président de la République suivi des réponses des administrations et des organismes intéressés, janvier 2005, p. 201.

último, el cálculo se efectúa considerando una cesación total del reactor al finalizar el año en curso. Es por esta razón que ciertas garantías pueden ser demandadas, en calidad de activos de fondos no cubiertos para los gastos estimados.

Para la constitución del fondo, diferentes facilidades se pueden dar a los explotadores de las centrales nucleares productores de residuos radiactivos, como por ejemplo: exoneración de impuestos.

En la mayoría de los países el monto del fondo de financiamiento se establece por periodos regulares del orden de uno a cinco años.

Los montos de los fondos de financiamiento son en algunos casos aprobado directamente por el gobierno, pero en la mayoría por una autoridad de reglamentación como en Canadá e Estados Unidos o por el organismo encargado de la gestión de desechos, como en Bélgica o España.

La gestión del fondo puede estar entregada a una entidad pública o privada, encargada de definir la organización general del fondo y la estrategia financiera. En España por ejemplo, el fondo de financiamiento es administrado por ENRESA, responsable de la gestión de los residuos radiactivos y de operaciones de desmantelamiento. A su vez, la gestión financiera de este fondo es examinada por un comité de control formado por el auditor general de la administración, el director general del tesoro y política financiera y por el director general de energía. Este comité determina la política general de inversión y elabora un reporte de gestión cada 6 meses. En Finlandia, el fondo nacional para la gestión de desechos nucleares es administrado por un consejo de gobierno que verifica que los fondos recaudados permitan responder a los objetivos establecidos y que los explotadores de la instalación nuclear, cumplan con sus obligaciones respecto del fondo. Este comité está encargado de definir la política de inversión y depósito de los fondos.

Cabe destacar por último, los riesgos que puede experimentar el financiamiento de la gestión de desechos nucleares y del desmantelamiento de la planta, en los mercados eléctricos sometidos a las reglas de la libre competencia. En este sentido se puede recordar la experiencia del principal productor de electricidad del Reino Unido, *British Energy,* la cual demostró que la existencia de un fondo de financiamiento no es suficiente para asegurar los compromisos financieros de un industrial si su valor no equivale, desde un comienzo, al monto de sus compromisos o si un mecanismo de garantía no cubre la diferencia entre el compromiso del industrial y el monto del fondo de financiamiento.[608]

[608] Cour des Comptes, Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs. Rapport au Président de la République suivi des réponses des administrations et des organismes intéressés, janvier 2005, p. 205.

En el contexto antes descrito, el presente informe comenzará con ciertas definiciones básicas de residuos nucleares y desmantelamiento, así como de una breve descripción de la legislación internacional aplicable a estas actividades, para luego pasar revista respecto de la legislación comparada y los puntos críticos que de ella se desprenden a la luz del derecho nacional.

2. Cuestiones preliminares

2.1. Definición de residuos generados por plantas nucleares

La Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre la gestión de desechos radiactivos[609] define a los desechos radiactivos como: *"los materiales radiactivos en forma gaseosa, líquida o sólida para los cuales la parte contratante o una persona natural o jurídica cuya decisión sea aceptada por la parte contratante no prevé ningún uso ulterior y que el órgano regulador controla como desechos radiactivos según el marco legislativo y regulatorio de la parte contratante"*.[610]

2.2. Definición del concepto de desmantelamiento de la planta nuclear

Por desmantelamiento puede entenderse el término de una actividad industrial. Por regla general, es la empresa que explota la planta nuclear la encargada de limpiarla, desmontarla y reconstruirla. Considerando los impactos que pueden generar estas actividades, es necesario se realicen de manera metódica, minuciosa y controlada. Cuando los suelos han sido contaminados, se requiere además rehabilitar el sitio.

La actividad de desmantelamiento fue una de las primeras preocupaciones de la industria nuclear. Es por eso que la experiencia adquirida en la materia permite que el volumen actual de desechos nucleares de desmantelamiento sea muy bajo. El costo es conocido y soportable, en el orden del 15% del costo de construcción de una planta[611].

2.3. Legislación internacional aplicable al tema de residuos

En materia de desechos radiactivos la comunidad internacional suscribió la *Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre la Gestión de Desechos Radiactivos.*[612] En su preámbulo se recuerda que el Estado es el último responsable de la seguridad en la gestión del combustible gastado y de los

[609] Infcirc/546 de enero de 1998.
[610] *Ibidem*. artículo 2 h
[611] Lallement, Robert, Démantèlement des installations nucléaires: les voies de la maîtrise industrielle. RGN n° 5, Octobre-Novembre, 2004, p.21.
[612] Infcirc/546 de enero de 1998.

desechos radiactivos. Se reafirma el principio de proximidad que exige la eliminación de los desechos radiactivos en el mismo territorio en que se generan. También se recuerda la necesidad de implementar lo dispuesto en la Agenda 21, elaborada por la comunidad internacional con ocasión de la Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, en el sentido de perseguir la gestión segura y ecológica. Por último, cabe destacar el párrafo XVI de dicho preámbulo, referido a la importancia de fortalecer el control internacional aplicable al material radiactivo en el marco de la Convención de Basilea.

Este tratado internacional no se refiere latamente al tema del financiamiento de la gestión de desechos radiactivos. Al respecto se limita a establecer en su art. 11 la obligación de cada Estado contratante de velar por la disposición de los recursos financieros suficientes para mantener la seguridad de la instalación nuclear durante todo su ciclo de vida.

Chile sólo ha ratificado la Convención de Seguridad Nuclear, suscrita en Viena el 20 de septiembre de 1994,[613] la cual en materia de financiamiento utiliza términos similares a los empleados por la Convención antes citada. Su artículo 22 precisa al respecto, que los recursos financieros deben considerarse para todo el periodo de operación de la instalación nuclear, así como del cierre de la misma y especialmente para el periodo posterior al desmantelamiento, en miras de asegurar el control institucional y radiológico adecuado.

En consecuencia, es posible deducir que el derecho internacional nuclear se limita a asignar a los Estados contratantes, la obligación de prever los recursos financieros necesarios para una gestión segura de los desechos radiactivos y para el desmantelamiento de la planta nuclear. Corresponde por ende, a los Estados definir la manera cómo asegurarán tales recursos en su derecho doméstico, tal como se expone a continuación.

2.3.1. Definición de la legislación ad-hoc al financiamiento de residuos radiactivos y desmantelamiento de las plantas nucleares en el derecho comparado

2.3.1.1. Canadá

2.3.1.1.1. Definición de la legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

[613] Infcirc/449, 5 de julio de 1994. Decreto 272 del 3 de marzo de 1997.

Canadá cuenta con una Ley de Seguridad Nuclear, *Nuclear Safety and Control Act*, de 1997, la cual regula el desarrollo, producción y utilización de la energía nuclear, así como la producción, posesión y uso de sustancias nucleares. La *Nuclear Fuel Waste Act*, de 2002, por su parte, norma la gestión a largo plazo de los residuos nucleares, en todos sus ámbitos, incluyendo la forma de financiar tales procedimientos, a través de fondos fiduciarios.

2.3.1.1.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La estructura orgánica de las entidades que tienen potestades en lo relativo a la gestión de los desechos radiactivos, especialmente, en lo que concierne a su financiamiento, se define en la política canadiense para el manejo de los residuos nucleares, *Natural Resources of Canada.*[614]

Destacan en la organización institucional relacionada con el financiamiento de los residuos radiactivos, la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear, *Canadian Nuclear Safety Comission* y la Oficina de Gestión de Residuos Radiactivos de Bajo Nivel, *Low-Level Radioactive Waste Management Office.* La primera fue creada en la ley de seguridad nuclear, que prescribe los requerimientos técnicos para la gestión de los desechos y las garantías necesarias que deben otorgar los licenciatarios para llevar a cabo esta tarea, en la eventualidad que los generadores de residuos no puedan asumir los costos del financiamiento de su gestión.[615]

Además, el hecho de que esta industria se desarrollara en sus inicios por iniciativa estatal, explica la creación de la Oficina de Gestión de Residuos Nucleares de Bajo Nivel, cuya misión es resolver los problemas relacionados con los residuos de bajo nivel muy antiguos, que son de responsabilidad federal.[616]

También existe una organización independiente, sin fines de lucro, creada por los generadores de residuos, la cual asume la administración de los fondos recolectados y la gestión de los residuos, *Nuclear Waste Management Organization.*

2.3.1.1.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos nucleares, repositorios y desmantelamiento.

En aplicación del principio del que contamina paga, el Estado de Canadá ha establecido que los generadores de residuos nucleares tienen la obligación de cubrir los costos del manejo de los desechos radiactivos.

---

[614] OECD. *Radioactive Waste Management and Decommissioning in Canada*. March 2008. p. 1.
[615] OECD. *Radioactive Waste Management and Decommissioning in Canada*. March 2008. p. 25.
[616] OECD. *Radioactive waste management and decommissioning in Canada*. March 2008. p. 6.

Según la *Nuclear Fuel Waste Act*, los generadores de desechos deben realizar obligatoriamente un aporte previo a la generación de los residuos nucleares, el cual se encuentra predeterminado para cada integrante de la *Nuclear Waste Management Organization,* así como un aporte anual. [617]

El cálculo del aporte de los generadores de residuos se realiza sobre la base de la estimación de costos futuros. En esta óptica *Nuclear Waste Management Organization* debe presentar anualmente una fórmula de financiamiento destinado a solventar el plan de gestión de residuos radiactivos. Dicha fórmula debe considerar los siguientes factores:

- *El coste total estimado de la gestión de los residuos de combustible nuclear, considerando los fenómenos naturales o de otro tipo.*

- *La tasa estimada de rendimiento de los fondos fiduciarios.*

- *La esperanza de vida de los reactores nucleares de cada corporación de la energía nuclear y de la Atomic Energy of Canada Limited.*

- *Las cantidades estimadas que se reciban de los propietarios de los residuos de combustible nuclear, excepto las empresas de energía nuclear y la Atomic Energy of Canada Limited, a cambio de servicios de gestión de los residuos de combustible nuclear.*[618]

El cálculo propuesto necesita contar con la aprobación del Ministerio de Recursos Naturales.[619] Los dineros recaudados sólo pueden ser girados por *Nuclear Waste Management Organization,* y cuando se haya aprobado el lugar y la operación de la instalación que se dedique a la eliminación de los desechos.

El proceso de desmantelamiento de la planta nuclear se financia por su parte, a través de la entrega de garantías, las cuales pueden consistir en dinero efectivo, letras de créditos, seguros privados o estatales, en el caso que sea una empresa federal o provincial de generación núcleo-eléctrica, las cuales deben cubrir el plan de decomisionamiento que haya establecido la propia empresa para su concreción y que debe ser aprobado por la CNSC (*Canadian Nuclear Safety Comisión*)[620].

[617] Nuclear Fuel Waste Act. Nº 10 (1) y (2).
[618] Nuclear Fuel Waste Act. Nº 13 (1)
[619] OECD *Nuclear Legislation in OECD Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*. Canadá, 2009, p. 15.
[620] *Ibidem*, p. 28 - 29

2.3.1.2. Estados Unidos

2.3.1.2.1. Definición de la legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos de radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La ley de energía de Estados Unidos, *Energy Policy Act*, de 1992, entrega un marco general sobre la política energética de ese país. En tanto la ley sobre desechos radiactivos de bajo nivel, *Low-level Radioactive Waste Policy Act* (1980 y 1985) busca perfeccionar los procedimientos para el establecimiento y funcionamiento de instalaciones de eliminación de este tipo de residuos .

Por su parte la ley de desechos nucleares de 1982, *Nuclear Waste Policy Act*, prescribe las condiciones necesarias para realizar la gestión de los desechos radiactivos, en todos sus ámbitos, incluido el financiamiento: Tittle *III – Other Provisions Related to Radioactive Waste*. Section 301-306.

2.3.1.2.2 Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Oficina de Gestión de Residuos Radiactivos Civiles, *Office of Civilian Radioactive Waste Management*, dependiente del Departamento de Energía, se encarga de administrar el fondo de desechos nucleares, *Nuclear Waste Fund,* así como del importe de las tasas pagadas por las empresas nucleares.[621] Esta institución también tiene la responsabilidad específica del desarrollar un repositorio geológico para la eliminación del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos de alto nivel.[622] En lo que concierne a los residuos de bajo nivel, cada Estado es responsable de realizar, con el aporte financiero de los generadores de residuos, la eliminación de este tipo de desechos provenientes de reactores comerciales.[623]

2.3.1.2.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos nucleares, repositorio y del desmantelamiento de la planta.

El financiamiento en la gestión de los desechos radiactivos es responsabilidad de los generadores de residuos nucleares, sin perjuicio de los aportes que realiza el Estado. Este es diferenciado para los residuos de alto nivel, de bajo nivel y para el desmantelamiento.

---

[621] OECD. *Radioactive waste management and decommissioning in the United States of America*. 2007, report, p.18.
[622] OECD. *Radioactive waste management programs in OECD/NEA member countries*. United States, p. 8.
[623] OECD. *Radioactive waste management and decommissioning in the United States of America*. 2007, report, p. 6.

Respecto de los residuos de *alto nivel*, el monto del aporte financiero asumido por los generadores es determinado por *Office of Civilian Radioactive Waste Management,* entidad que realiza un cálculo en consideración a los costos futuros estimados. Esta tasa equivale aproximadamente a 1/ 10 US centavos por KWh y puede variar conforme a los costos asociados a esta actividad. Además, el Congreso de Estados Unidos realiza una asignación anual al fondo de residuos radiactivos, además de una transferencia adicional, en forma separada, para cubrir los costos de eliminación de residuos de alta radiactividad proveniente del ámbito de la defensa nacional, en consideración a los costos estimados para la gestión futura.[624]

La tasa prescrita para cumplir con la adecuada gestión de residuos radiactivos deberá ser revisada anualmente con el objeto de que el importe de aquéllas proporcione ingresos suficientes para compensar los costos reales del manejo de los desechos. En caso de insuficiencia de los montos solicitados a los generadores de residuos, se deberá proponer un ajuste de la tasa que garantice la plena recuperación de los costos estimados a largo plazo.[625]

En el caso de los *residuos de bajo nivel*, los generadores cubren económicamente el manejo de los desechos, los cuales deben solventar dichos montos a través de una tasa determinada por el Estado o la región donde desarrollan su actividad o en base a una estimación futura de costos, dependiendo del tamaño del productor de desechos. Siendo el aporte financiero efectuado por las empresas comerciales de generación núcleo-eléctrica que producen residuos de bajo nivel, corresponde al Estado respectivo proporcionar, ya sea en forma autónoma o en unión con otros Estados, la infraestructura pertinente para eliminar este tipo de desechos.[626]

Cada productor de desechos de bajo nivel proporciona los fondos para el almacenamiento de sus residuos, el cual debe estar considerado dentro de su presupuesto de funcionamiento. Los operadores de cada sitio de emplazamiento en los cuales se efectúa la disposición, cobran los valores a los generadores de residuos en el instante en que los desechos son recepcionados para su eliminación. Los generadores de residuos de bajo nivel asumen los costos de su gestión a partir del momento en que se construye la infraestructura necesaria a este objetivo.[627]

---

[624] OECD. *Radioactive waste management and decommissioning in the United States of America*. 2007 Report,p. 18.
[625] *Ibidem*, Section 302 (4).
[626] OECD *Radioactive waste management and decommissioning in the United Status of America*. p. 3.
[627] OCDE *Radioactive waste management and decommissioning in the United States of America*. 2007 Report, p. 18.

En lo que respecta al *desmantelamiento* de las plantas nucleares, éste se financia con garantías aportadas por las empresas de núcleo-electricidad, las que se deben mantener en fondos separados dentro de las mismas compañías.[628]

En Estados Unidos, el mercado de la electricidad está sujeto a las reglas del libre mercado, estableciéndose los precios de la energía en base a criterios de competencia y eficiencia. Los costos de la electricidad en general, reflejan los valores de construir, financiar, mantener, administrar y operar las plantas de energía y la red eléctrica. Los precios de le energía eléctrica en algunos Estados están totalmente regulados, mientras que en otros se puede observar una combinación de precios no sometidos a regulación (los generadores) y otros sujetos a la regulación de los precios (para transmisión y distribución).[629]

De esta manera, la internalización de los costos de la gestión de residuos radiactivos que provienen del combustible gastado equivale a un valor aproximado de 1/10 US centavos x KWh generado por las empresas productoras de energía nuclear. Los costos relativos al desmantelamiento de la central de potencia nuclear equivalen al 9 a 15% del costo de capital inicial de una planta de energía nuclear o a 0.1 a 0.2 cent / KWh, lo que no supera el 5% del costo de la electricidad producida.[630]

2.3.1.3. Corea del Sur

2.3.1.3.1. Definición de la legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos de radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

Corea del Sur cuenta con una ley sobre desechos radiactivos, *National Radioactive Waste Management Policy*, del año 2009. El objetivo de este cuerpo legal es establecer medidas de protección frente a los peligros y daños provocados por los residuos radiactivos, así como contribuir a la seguridad pública y a la protección del medio ambiente. En esta perspectiva, la ley regula aspectos sobre la seguridad y gestión eficaz de los residuos radiactivos y su financiamiento (Chapter 3-4-5). A su vez, la ley sobre energía atómica, *Atomic Energy Act*, del año 1958 (Chapter III-2. *Nuclear Energy Research and Development Fund*. Arts. 10.3 – 10.5), persigue la mejora del nivel de vida de los ciudadanos y la prevención de los desastres que pueda ocasionar la radiación nuclear. Por otra parte, la ley eléctrica, *Electricity Business Act*, regula el mercado de la electricidad, la cual prescribe entre sus normas los costos de la gestión de los desechos nucleares.

[628] OECD *Radioactive waste management and decommissioning in the United Status of America*., p. 21.
[629] http://tonto.eia.doe.gov/energyexplained/index.cfm?page=electricity_factors_affecting_prices
[630] http://www.world-nuclear.org/info/inf02.html

2.3.1.3.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

El Ministerio de Comercio, Industria y Energía, a través del Comité para la gestión de los residuos radiactivos, determina los recursos financieros necesarios para llevar a cabo esta actividad. La empresa estatal, *Korean Hydro and Nuclear Power Company,* dependiente del Ministerio de Comercio, Industria y Energía, se encarga de reunir y administrar los fondos[631].

En tanto, la actividad material de la gestión es efectuada *Korean Radioactive Waste Management Corporation*, que es una organización independiente, formada por los productores de residuos radiactivos (KHNP) y se encarga del almacenamiento, tratamiento y eliminación de residuos radiactivos.[632]

2.3.1.3.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos nucleares, repositorio y del desmantelamiento de la planta.

La obligación financiera en lo relativo al manejo de los desechos radiactivos sigue el principio del que contamina paga, según el cual el generador tiene la obligación de financiar esta actividad.[633]

El aporte de los generadores de residuos para la gestión de los desechos que configura el Fondo Nacional, se calcula en base a la energía generada en las plantas nucleares. Dicha tarifa va directamente al Fondo de gestión estatal.[634]

2.3.1.4. Brasil

2.3.1.4.1. Definición de la legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Ley Nº 4118 de 1962, que crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear (Capítulo IV. Artículos 19 y 20), prescribe también la creación del Fondo Nacional para la Energía Nuclear. La Ley de desechos radiactivos, *rejeitos radioativos*, Nº 10.308 de 2001 (Capítulo VII. Artículos 16-18) prescribe por su parte, los requerimientos necesarios para el destino definitivo de los residuos nucleares generados en el país,

631 OECD. *Radioactive waste management programs in OECD/NEA member countries. Republic of Korea,* pp. 9 y 13.
632 *Ibidem*, p. 13.
633 OECD. Radioactive waste management in Republic of Korea. 2009, report, p. 1.
634 Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants, *Roles del Estado y del Sector Privado en la generación núcleo-eléctrica: Experiencia Internacional aplicable a Chile*. 2008, p. 112.

incluida la selección del lugar de emplazamiento, construcción, licencias, operación, inspección, costo económico, daños, responsabilidad y seguridad de los depósitos radiactivos.

2.3.1.4.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Comisión Nacional de Energía Nuclear, que depende del Ministerio de Ciencia y Tecnología, tiene el monopolio de la extracción de elementos radiactivos, producción y comercio de materiales nucleares. Ésta es además, el máximo órgano de planificación, orientación y supervisión en materia nuclear. La administración del financiamiento está en manos de la Comisión Nacional de Energía Nuclear, el cual depende del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

2.3.1.4.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos nucleares, repositorio y del desmantelamiento de la planta.

El financiamiento es de responsabilidad del generador de desechos radiactivos, en este caso de la empresa estatal, la cual entrega su aporte a un Fondo Nacional de Energía Nuclear.[635] En este sentido encontramos nuevamente la aplicación del principio del que contamina paga, en cuanto es el generador de los desechos el que asume los costos de gestión.

La Comisión Nacional de Energía Nuclear puede celebrar convenios con terceros para la materialización de todo o parte de la gestión de residuos nucleares, no perdiendo la responsabilidad final de esta actividad.

El cálculo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos considera las siguientes variables:

- El volumen a ser depositado.
- El isótopo activo del volumen autorizado
- El costo de las licencias, la construcción, operación, mantenimiento y depósito de seguridad física.[636]

[635] Capítulo IV, artículos 19 y 20, Ley 4118.
[636] Capitulo VII, artículos 17-18, Ley 10308.

2.3.1.5. Argentina

2.3.1.5.1. Definición de la legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Ley n°25.018 de 1998 establece el *Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos* y prescribe las herramientas para la adecuada gestión de los residuos radiactivos, así como las normas sobre su financiamiento, en miras a garantizar la protección del medio ambiente, la salud pública y los derechos de las futuras generaciones.

2.3.1.5.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Comisión Nacional de Energía Atómica, que depende directamente de la Presidencia, por intermedio del Ministerio de Asuntos Técnicos,[637] es la responsable de la gestión de residuos radiactivos. En esta perspectiva es además la encargada de administrar el Fondo Nacional destinado para estos efectos, de acuerdo al Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos.[638]

2.3.1.5.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos radiactivos, repositorios y desmantelamiento de las plantas nucleares.

Argentina cuenta con un Fondo Nacional destinado a financiar la gestión de residuos radiactivos, el cual se constituye con los montos aportados por los generadores de los desechos. El cálculo del aporte se realiza sobre la base de ciertas características de los residuos, como por ejemplo: su volumen o nivel de radioactividad.[639]

2.3.1.6. Finlandia

2.3.1.6.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos de radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Ley finlandesa de energía nuclear, *Nuclear Energy Act* 990/1987 (Chapter 7. Section 35 – 53), prescribe los principios generales para la utilización de la energía

[637] Decreto Ley Nº 10936/50. Artículo 1.
[638] Ley 25.018, artículo 13.
[639] Ley 25.018, artículo 13 inciso 2.

atómica, el manejo de los residuos nucleares y su financiamiento, la concesión de licencias y el resguardo necesario en el uso de la energía nuclear. También define a las autoridades competentes en estas materias. Su reglamento, *Decree* No. 161/1988 (Section 82), especifica los criterios y el procedimiento necesario para efectuar la estimación de costos de la gestión de los residuos radiactivos.

2.3.1.6.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

El Ministerio de Empleo y Economía es el encargado de elaborar un programa de gestión de residuos radiactivos de largo plazo[640] y de administrar el Fondo Nacional de Gestión de Residuos Nucleares, según lo prescrito en la ley de energía nuclear, *Nuclear Energy Act* 990/1987.[641]

La gestión material en la eliminación de los desechos radiactivos la realiza una empresa formada por las dos sociedades privadas productoras de energía núcleo-eléctrica, denominada Posiva Oy.[642]

2.3.1.6.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos nucleares, repositorios y desmantelamiento.

El financiamiento de la gestión de residuos radiactivos en Finlandia, se funda en un aporte entregado por los generadores de desechos nucleares a un fondo estatal, manejado por el Ministerio de Empleo y Economía. Este aporte está también destinado a financiar los costos de la etapa de desmantelamiento de la planta nuclear.

Estos valores se encuentran incluidos en los precios que se cobran por el uso de energía eléctrica[643], en el contexto de un mercado eléctrico desregulado donde el Estado sólo interviene para imponer las condiciones generales que permitan un mejor desarrollo del sector.[644]

Los generadores de residuos radiactivos deben presentar cada tres años, una estimación de los costos futuros necesarios para la gestión de los desechos. La estimación toma en consideración diversas variables, tales como los costos actuales de la gestión de residuos existentes, la tasa de inflación y la tecnología disponible.[645]

---

640 OECD. *Radioactive waste management and decommissioning in Finland*. 2009, report, p. 1.
641 Chapter 7. Section 35 – 53
642 OCDE *Radioactive waste management and decommissioning in Finland*. 2009, report, p. 2.
643 *Ibidem,* p. 8.
644 http://www.tem.fi/?l=en&s=170
645 *Ibidem*, p. 9.

Con todo, se ha calculado que el costo del manejo de los residuos radiactivos y el decomisionamiento de la planta, equivale a cerca del 10% de los costos de producción de la energía nuclear en ese país[646].

2.3.1.7. República Checa

2.3.1.7.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La República Checa cuenta con una Ley de Uso Pacífico de Energía Nuclear y Radiación Ionizante, Act No. 18/1997 *on the peaceful use of nuclear energy and Ionising Radiation and on Amendment and Additions to related Act*. (Artículos 26-28). Este texto legal regula la gestión de los desechos nucleares y su financiamiento.

2.3.1.7.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

El Ministerio de Finanzas recibe los aportes efectuados por los generadores de residuos radiactivos, los cuales ingresan al presupuesto de la nación en una cuenta especial y determina su forma de inversión. La Autoridad pública de repositorios de desechos radiactivos, RAWRA, *Radioactive Waste Repository,* creada en 1997, determina por su parte, las partidas que deben cubrir el fondo de financiamiento de la gestión de residuos radiactivos, se encarga de la gestión y presta los servicios necesarios para concretar su eliminación final.[647]

2.3.1.7.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos radiactivos, repositorio y desmantelamiento.

El fondo creado para la gestión de desechos nucleares se forma con los aportes de los generadores de desechos radiactivos, cuyos principales actores son empresas en las cuales el Estado posee una participación relevante.

Estos responden económicamente por todo el ciclo de vida de los desechos radiactivos, desde que se originan en su fuente, hasta su completa eliminación,

[646] *Ibidem*.
[647] OECD/NEA. *Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA members countries*. Czech Republic, p. 18.

incluidos los costos de supervisión una vez cerrada las instalaciones, la que se efectúa por la institución pública competente (RAWRA).[648]

El importe de los pagos que constituyen el fondo se calcula sobre la base a la estimación de costos de la gestión y del volumen total de residuos atribuible a sus generadores.[649]

2.3.1.8. Reino Unido

2.3.1.8.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Ley de sustancias radioactivas de 1993, *Radioactive Substances Act*, regula la utilización y manejo de sustancias radiactivas. La Ley de energía de 2004, *Energy Act*, (Chapter 1. Nº 21-32), prescribe normas sobre desmantelamiento, limpieza de las instalaciones, sitios habilitados para la realización de actividades nucleares y disposición final de los residuos radiactivos y su financiamiento.

2.3.1.8.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La *Nuclear Decommissioning Authority*, que depende directamente del Departamento de Energía y Cambio Climático[650] administra el Fondo Nacional para la gestión de los desechos nucleares y el desmantelamiento.[651]

2.3.1.8.3. Tipo de financiamiento de la gestión, repositorio y desmantelamiento

El financiamiento de la gestión de los desechos radiactivos y del desmantelamiento de la planta nuclear es de cargo de los generadores, de los residuos y de los explotadores nucleares, en virtud del principio del que contamina paga.[652]

---

[648] OECD/NEA. *Radioactive waste management programs in OECD/NEA member countries*. Czech Republic. p. 18.
[649] Act No. 18/1997, artículos 26 y 27.
[650] http://www.nda.gov.uk/aboutus/
[651] Energy Act 2004. Section 31: Establishment and maintenance of the Account
[652] OECD. *Radioactive waste management programs in OECD/NEA member countries*. United Kingdom. 2005. p. 8.

No obstante lo anterior, es necesario señalar que ciertas actividades como la limpieza de las instalaciones públicas existentes con anterioridad al establecimiento de un plan integral para la gestión de desechos radiactivos, se carga al presupuesto de la Nación.

La definición del financiamiento se efectúa sobre la base del costo futuro estimado de la gestión de residuos radiactivos y su eliminación.[653]

En lo que se refiere al desmantelamiento, éste se financia con una tasa determinada por la NDA, en base a los costos futuros. Los aportes son destinados al fondo específico para el desmantelamiento de la planta.[654] Su cálculo toma en consideración el espacio a utilizar para los desechos, la disponibilidad de recursos para el futuro y los recursos humanos necesarios para materializar esta actividad.[655]

2.3.1.9. Francia

2.3.1.9.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Ley Nº 91-1381 de 30 de diciembre de 1991 sobre Investigación de la Gestión de Residuos Radiactivos se refiere a proyectos de investigación y desarrollo llevada a cabo por la Comisión de Energía Atómica (CEA).

Por su parte el Código Ambiental se encarga de normar la eliminación de residuos y reciclaje de materiales, según las enmiendas efectuadas a través del Decreto 75-633 de 15 de julio de 1975 y del Decreto 91-1381 de 30 de diciembre de 1991. Además establece los principios generales de la gestión de residuos nucleares y crea la Agencia Nacional para la Gestión de los Residuos Radiactivos (ANDRA).

El Decreto de Planeamiento sobre la gestión sustentable de los materiales y residuos radiactivos de 2006, encarga nuevas funciones a ANDRA y dispone la creación de un Plan Nacional para la gestión de materiales y residuos radiactivos (PNGMDR). Este define las prestaciones que deben efectuar los productores de residuos nucleares para cubrir los costos de desmantelamiento de las plantas nucleares y los impuestos adicionales que deben pagar para financiar la investigación.

---

653 OECD. *Radioactive waste management programs in OECD/NEA member countries*. United Kingdom, año 2005, p. 8.
654 Universidad Adolfo Ibáñez y Senes Consultants, *Roles del Estado y del Sector Privado en la generación núcleo-eléctrica: Experiencia Internacional aplicable a Chile.*, 2008, p. 338 - 339.
655 *Ibidem.*

2.3.1.9.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Agencia Nacional para la Gestión de Residuos Radiactivos (ANDRA)[656] es un órgano público con participación privada, creado solamente para gestionar los desechos radiactivos producidos en Francia. Está bajo la supervisión del Ministerio de Ecología, Energía, Desarrollo Sustentable y Planeamiento Territorial.

La administración del financiamiento de la gestión de residuos está a cargo de las propias centrales nucleares[657], quienes actúan bajo la supervisión de la administración competente, conforme lo dispone la Ley de Planeamiento de 2006. Esta debe ser evaluada a fin que ofrezcan suficiente seguridad y liquidez.[658]

Los operadores nucleares, deben remitir cada tres años un reporte a la autoridad administrativa, en el cual se describa la evaluación de costos, los métodos aplicados para su cálculo y la fórmula adoptada para constituir, gestionar y asignar las reservas.[659]

La Ley de Planeamiento de 2006 creó una Comisión Nacional, cuya función primordial es la de controlar la gestión financiera realizada por los operadores nucleares en materia de gestión de residuos y desmantelamiento.[660]

2.3.1.9.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos nucleares repositorios y desmantelamiento

En aplicación del principio del que contamina paga es el generador de los residuos radiactivos el que asume los costos de la gestión en todo su ciclo de vida, incluido el desmantelamiento. El financiamiento de desechos radiactivos se calcula en base a la estimación de costos futuros.

Es importante que los recursos financieros sean suficientes y estén disponibles cuando sean necesarios, especialmente para asegurar de manera satisfactoria la seguridad de las operaciones nucleares, conforme lo establece el Decreto de

[656] Creada por la Orden de 7 de noviembre de 1979, modificada el 30 de diciembre de 1991.
[657] UAI *Roles del Estado y del Sector Privado en la generación núcleo-eléctrica: Experiencia Internacional aplicable a Chile*., 2008, p. 99.
[658] OECD. *Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries.* France, 2007. p. 15.
[659] Artículo 20 de la Ley de Planeamiento 2006/739.
[660] *Ibidem.*

Planeamiento sobre la Gestión Sustentable de los Materiales y Residuos Radiactivos de 2006.[661]

Cada operador nuclear está a cargo de gestionar su financiamiento, el cual permanece dentro de la compañía como activos que respalden su liquidez.[662] En el caso de Electricidad de Francia (EDF) esta implementa el financiamiento de la gestión de residuos mediante un fondo cuya cantidad aportada está supervisada por la Oficina de Contabilidad del Gobierno. El costo de la gestión de residuos de alta actividad y desmantelamiento equivale al precio de 0,14 céntimos de euros por KWh.[663]

Respecto a los costes derivados del desmantelamiento[664], EDF, ha optado por integrarlos en el precio de venta del KWh. Los costes de desmantelamiento de sus 58 reactores en funcionamiento, que estiman darlos de baja después de 2020, equivalen a 8,1 millones de euros.

La empresa acumula el financiamiento destinado a solventar los costos del desmantelamiento durante toda la vida útil de sus reactores, con el objeto de contar con el capital necesario al momento del cierre de la planta.

La Comisión de Energía Atómica (CEA), organismo estatal, administra por su parte dos fondos de financiamiento para la gestión de residuos radiactivos generados por ciertos centros de investigación. En el año 2004, los programas civiles de la CEA recibieron el 55% de su financiamiento del gobierno francés, y el 35% de fuentes externas (empresas asociadas y la Unión Europea). El restante 10% se suministró de un fondo dedicado a la clausura y la limpieza de plantas nucleares civiles. Los programas militares son principalmente financiados por el Ministerio de Defensa.[665]

En atención a la incorporación de los costos de gestión de residuos radiactivos de alto nivel y del desmantelamiento de las plantas nucleares es posible advertir lo siguiente.

Los consumidores franceses cuyo proveedor de electricidad es EDF benefician de tarifas reguladas, mientras que los que optan por empresas de la competencia se someten a tarifas desreguladas. Estos últimos tienen la posibilidad de regresar al primer sistema hasta junio del 2010 (Ley n°2005-781, 13 de julio de 2005, art.66, sobre el programa que fija las orientaciones de la política energética).

---

661 OECD. *Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries,* Francia, 2007.
662 *Ibidem.*
663 EDF. EDF and Power Generation. [en línea] <http://bit.ly/c7sxTK>. [Consulta: 29/11/2009].
664 *Ibidem.*
665 CEA. Facts and Figures Where does the CEA get its funding? <http://bit.ly/dnKj5G>. [consulta: 29/11/2009].

La definición de la tarifa eléctrica toma en cuenta los recursos económicos de cada hogar, así como el número de personas que lo integran, a objeto de definir si se trata de un producto de primera necesidad (Ley n°2000-104, 10 de febrero de 2000, art.4). Los costos de la gestión de desechos nucleares y del desmantelamiento son considerados entre los costos de producción de la energía eléctrica generada.

El actual mecanismo de tarificación eléctrica es blanco de críticas de parte de la Unión Europea, la cual se opone a las tarifas reguladas, salvo en los casos que se tienda a proteger a los consumidores vulnerables y exista una valoración del servicio eléctrico como servicio de carácter público. Ciertos sectores estiman además, que el precio de la tarifa regulada no refleja los costos de producción eléctrica (34 euros MW/h tarifa regulada, versus 44 a 48 euros el MW/h, tarifa desregulada).

Frente al eminente cambio anunciado por la Ley n°2005-781 a partir de junio 2010, momento en el que los consumidores sometidos a tarifas desreguladas no podrán regresar a un sistema de tarifas reguladas, el gobierno francés solicitó al ex presidente del regulador (ARCEP), elaborar un informe que indique las vías a seguir a partir de julio 2010. El "Rapport Champsaur" fue publicado en abril 2009 y sometido a consulta pública durante un mes, éste propone dos caminos principales.

El primero consiste en mantener las tarifas reguladas hasta cierto nivel de consumo de energía eléctrica, equivalente a la energía de base de los hogares. También considera conservar la posibilidad de los consumidores desregulados de regresar en cualquier momento a las tarifas reguladas.

En este contexto, la tarifa debiera reflejar los costos completos del parque histórico de producción nuclear francés, entre los cuales se incluirían los costos de mantención de las centrales, durante todo su periodo de vida, el costo de la gestión de desechos nucleares y del desmantelamiento.

La otra posibilidad propuesta por el informe es la de liberalizar el precio de la electricidad para los industriales y que los beneficios de EDF sean sometidos a tasas de impuesto. Estos últimos serian redistribuidos entre operadores industriales de la electricidad de manera a equilibrar sus costos y beneficios.

2.3.1.10. Bélgica

2.3.1.10.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Real Orden de 30 de marzo de 1981, determina los deberes y requisitos para la operación del órgano público responsable de gestión de los residuos radiactivos y la gestión del material fisionable. Mediante esta norma se crea ONDRAF, que es el órgano encargado de la gestión de los derechos radiactivos y del desmantelamiento de las centrales nucleares.

La orden sobre protección de la radiación de 20 de julio de 2001 (Capítulo II/Parte II, Capítulo III/Parte IV) se encarga de regular el almacenamiento de residuos nucleares.

Por último, la Ley sobre el fondo de reserva para el desmantelamiento de plantas nucleares y la gestión de materiales fisionables irradiados en las plantas nucleares de 11 de abril de 2003, regula un fondo especial para estos efectos. En este sentido encarga a la corporación belga de combustible nuclear, SYNATOM, la cobertura de los costos de desmantelamiento de plantas nucleares, de los costos derivados de la gestión del material fisionable irradiado de tales centrales, la cual debe efectuarse mediante la implementación de determinados fondos destinados a ello.

2.3.1.10.2. Institucionalidad a cargo de la administración de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

Las instituciones ligadasa la gestión de residuos nucleares son la Organización Nacional para la Gestión de las Residuos Radiactivos y Material Fisionable (ONDRAF),[666] órgano público responsable de la gestión de los residuos radiactivos y material fisionable.

A su vez, SYNATOM,[667] corporación privada, cuyo capital pertenece a Electrabel. Está a cargo de la administración del financiamiento destinado a la gestión de los residuos.

[666] Creado mediante la modificación de Real Orden (30 de marzo de 1981) que determina los Deberes y Requisitos para la Operación del Órgano Público Responsable de los Residuos Radiactivos y la Gestión del Material Fisionable, a través del Real Decreto de 1991.
[667] Creado a través de la Ley sobre el Fondo de Reserva para el Desmantelamiento de Plantas Nucleares y la Gestión de Materiales Fisionables Irradiados en la Plantas Nucleares (11/abril/2003).

Esta empresa se encuentra bajo la supervigilancia del Estado mediante la participación de dos representantes en el Consejo de su Administración.

2.3.1.10.3. Tipo de financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento

La Real Orden de 30 de marzo de 1981 que determina los deberes y requisitos para la operación del órgano público responsable de los residuos radiactivos y la gestión del material fisionable, dispone que los costos asociados a la gestión de los residuos radiactivos deberán ser pagados por quien los produce. Asimismo, establece que los costos de las actividades de ONDRAF, incluyendo la investigación aplicada e inversiones, deben ser financiadas por los productores de energía nuclear, en proporción al volumen de desechos radiactivos generados.[668]

Las operaciones de largos períodos, especialmente aquellas asociadas con la eliminación de futuros desechos radiactivos, son financiados mediante la implementación de un fondo especial, el cual se conforma de la contribución anual de los productores de residuos nucleares, en atención al volumen y tipo de desechos radiactivos que producen.[669]

La misma normativa señalada precedentemente, dispone la creación de un fondo de insolvencia, cuyo propósito es garantizar el financiamiento necesario de ONDRAF en caso de insolvencia Este fondo, igualmente se constituye por los aportes de los productores de residuos radiactivos.[670]

Para el caso del desmantelamiento, y la eliminación de material radiactivo fisionable, SYNATOM es la encargada de administrar el financiamiento, constituido por los aportes anuales de los operadores nucleares. Si eventualmente, durante la operación de desmantelamiento, los fondos resultan insuficientes, éstos deberán transferir a SYNATOM el monto necesario para cubrir los costos por el tiempo que reste.[671]

Los aportes privados se realizan en base a los costos futuros de generación de energía con cargo a la tarifa eléctrica. Estos costos son establecidos por el organismo estatal ONDRAF.

---

[668] OECD. *Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries*. 2005. p. 9.
[669] *Ibidem.*
[670] *Ibidem.*
[671] OECD. *Nuclear Legislation in OECD Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*. Belgium. 2003. p.15.

2.3.1.11. España

2.3.1.11.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Ley 25/1964, de 29 de Abril, sobre energía nuclear y el Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, regulan la gestión de residuos nucleares, en general (artículo 38 bis, y capítulo I del Título VII).

El Real Decreto 1349/2003, de 31 de octubre, sobre ordenación de las actividades de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. (ENRESA) y su financiación, establece las funciones de ENRESA.

Ley 54/1997, del 27 de noviembre, del sector eléctrico, específicamente la Disposición Adicional Segunda, dispone la creación de un Fondo para el Financiamiento de las Actividades del Plan General de Residuos.

2.3.1.11.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

El organismo a cargo de la administración del financiamiento de la gestión de residuos, de la gestión y almacenamiento seguro es ENRESA (órgano público), creada en el año 1984.

Enresa también se ocupa del desmantelamiento de las centrales nucleares cuya vida útil haya terminado, así como de la restauración ambiental de minas e instalaciones relacionadas con el uranio.[672]

2.3.1.11.3. Tipo de financiamiento de la gestión, repositorios y desmantelamiento.

El financiamiento de la gestión es de cargo de los productores de residuos nucleares[673], quienes crean un fondo de financiamiento para la gestión de desechos

[672] ENRESA. Quienes somos [en línea] ¿Por qué se créa Enresa ? <http://bit.ly/amDbi5> [consulta: 29/11/2009].
[673] OECD*. Nuclear Legislation in OECD Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities.* Spain. 2001. p. 13.

radiactivos. Dicho fondo se constituye con el impuesto cobrado sobre todas las ventas de electricidad y por los aportes directos realizados por las centrales nucleares y otras instalaciones que generan residuos radiactivos.

Conforme al Real Decreto 1349/2003, de 31 de octubre, sobre ordenación de las actividades de la Empresa Nacional de financiación, se dispone un sistema para el financiamiento de la gestión de residuos radiactivos basado en la realización de un aporte a un fondo que devenga intereses, tomando en consideración el tiempo transcurrido entre el momento de la producción de residuos y el momento en que se incurre en los principales costos de la gestión.

Conforme la disposición adicional sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, el financiamiento de la gestión de los residuos radiactivos, incluido el combustible nuclear gastado, el desmantelamiento y la clausura de instalaciones nucleares, se carga al fondo para la financiación de las actividades del Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR).

Este fondo, establecido por la ley, está integrado por las siguientes partidas:

- Por las cantidades procedentes de la recaudación de las tasas reguladas en el apartado 9 de la disposición adicional sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico[674].

- Tasa por la prestación de servicios de gestión de residuos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares cuya explotación haya cesado definitivamente con anterioridad al 1 de enero de 2010, así como al desmantelamiento y clausura.[675]

- Tasa por la gestión de residuos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares durante su explotación con independencia de la fecha de su generación, así como los correspondientes a su desmantelamiento y clausura, y las asignaciones destinadas a los municipios afectados por centrales nucleares o instalaciones de almacenamiento de combustible gastado o residuos radiactivos.[676]

[674] Apartado 1 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.
[675] Punto Primero del Apartado 9 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.
[676] Punto Segundo del Apartado 9 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.

- Tasa por prestación de servicios de gestión de los residuos radiactivos derivados de la fabricación de elementos combustibles, incluido el desmantelamiento de las instalaciones de fabricación de los mismos.[677]

- Tasa por la prestación de servicios de gestión de residuos radiactivos generados en otras instalaciones.[678]

- Por las contraprestaciones o ingresos derivados de la prestación de los servicios contemplados en el Plan General de Residuos Radiactivos.[679]

- Por los rendimientos derivados de las inversiones financieras transitorias del mismo Fondo.[680]

- Por los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento, para los casos en que la central nuclear o fábrica de elementos combustibles radiactivos haya cesado definitivamente su explotación.[681]

- Por las cantidades destinadas al financiamiento de actividades de investigación que el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio determine que han estado directamente relacionadas con la generación de energía núcleo-eléctrica.[682]

Para determinar las fórmulas de evaluación de los costes de gestión se hace un análisis previo de las líneas de actuación.[683]

Así, los costes de la gestión del almacenamiento de residuos de baja y media actividad se determinan tomando en consideración los siguientes factores: la gestión previa (inventario, programa de retirada, transporte, desde el centro de origen del productor a los centros de tratamiento o gestión final), la gestión final (comprende el tratamiento, el acondicionamiento y el almacenamiento definitivo de los residuos), los servicios de apoyo (como por ejemplo, protección radiológica y ambiental), asignaciones a ayuntamientos.

---

677 Punto Tercero del Apartado 9 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.
678 Punto Cuarto del Apartado 9 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.
679 *Ibidem.*
680 *Ibidem.*
681 Apartado 3 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.
682 *Ibidem.*
683 Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Sexto Plan General de Residuos Radiactivos. Junio/2006. Anexo D. p. 158-159.

Los costes de la gestión del almacenamiento de combustible gastado y residuos de alta actividad se determinan tomando en consideración los siguientes factores: la gestión previa (inventario del combustible gastado, seguimiento de proyectos, futuro transporte de combustible gastado entre otros), el almacenamiento temporal (cambio de bastidores en las piscinas de las Centrales Nucleares estudios, licenciamientos, construcción, operación y clausura de una instalación centralizada para el almacenamiento), el reprocesado (operaciones o procesos a los que puede ser sometido el combustible gastado para la separación de distintas familias de radionucleidos con vistas a su posible reutilización o su gestión posterior en forma selectiva), la gestión final (incluye lo relativo al almacenamiento definitivo y seguimiento de los nuevos desarrollos tecnológicos internacionales) y las asignaciones a ayuntamientos.

Para los costes de clausura de las instalaciones se contemplan los costes relativos a los estudios generales, preparación y ejecución del desmantelamiento de todas las centrales nucleares españolas.

Finalmente, también se toman en consideración los costes residuales que están conformados por los costes derivados de la gestión de los residuos especiales (pararrayos radiactivos, detectores iónicos de humo etc.), y por los costes de innovación y desarrollo (I+D).

Los aportes realizados al fondo en atención a la gestión de los residuos nucleares son realizados no solamente con cargo a la tarifa eléctrica, sino que a través de otras vías conforme se especifican a continuación:

- **Aporte con cargo a la tarifa eléctrica:** Este sistema de financiamientos está basado en la aplicación de porcentajes sobre la recaudación por venta de energía eléctrica a tarifas y peajes, que se establecen de forma que las cantidades totales procedentes de esta vía, más los rendimientos financieros que se generen, cubran los costes futuros correspondientes a la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares, y a su desmantelamiento y clausura.[684] El cálculo de las cantidades teóricas necesarias a recaudar, se realiza de forma que proporcionen, a lo largo del período en que exista generación de energía núcleo-eléctrica, ingresos anuales que, junto con los correspondientes rendimientos financieros de los excedentes, garanticen el financiamiento de los costes a los que se hace referencia, hasta la finalización del período de gestión previsto en el Plan General de Residuos Radiactivos.

[684] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Sexto Plan General de Residuos Radiactivos. Junio/2006. Anexo D. p. 166.

- **Aporte con cargo a las centrales nuclear:** Este sistema de financiamiento debe cubrir los costos asociados a la gestión de los residuos radiactivos que se introduzcan en la central nuclear para el almacenamiento y la gestión del combustible gastado resultante del combustible nuevo que se introduzca en el reactor, incluido el desmantelamiento. El cálculo de estos ingresos se realiza de la misma manera señalada para el cálculo de ingresos con cargo a la tarifa eléctrica.

- **Aporte con cargo a la fábrica de elementos combustibles:** Este sistema de financiamiento debe cubrir los costes correspondientes a la gestión de los residuos radiactivos derivados de la fabricación de elementos combustibles radiactivos, incluido el desmantelamiento de las tales instalaciones. El cálculo de estos aportes se establece mediante un sistema de aportes anuales durante la vida operativa de la instalación.

- **Aporte con cargo a otras instalaciones:** Es el sistema de financiamiento aplicable a los explotadores de las instalaciones radiactivas generadores de residuos de la medicina, industria, agricultura e investigación, mediante tarifas aprobadas por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a los servicios prestados por terceros, o a ciertas empresas como consecuencia de incidentes de contaminación en sus instalaciones. A todos ellos se les imputa directamente los costes en el momento de la prestación de los servicios. La determinación del cálculo de la gestión y liquidación del pago correspondiente, se realiza directamente por ENRESA en el momento de la prestación de los servicios.

- **Casos excepcionales:** La gestión de residuos sin propietario, la retirada y gestión de cabezales de pararrayos radiactivos, se financia con cargo a los rendimientos financieros relativos a la parte de la provisión vía tarifas eléctricas integrados en el Fondo para la Financiación de las Actividades del Programa de Gestión de residuos radioactivos. Respecto al fondo, se contempla además la posibilidad de realizar inversiones financieras transitorias con los dineros del Fondo en la banca privada, bajo el control del Comité de Seguimiento y Control adscrito al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través de la Secretaría de Estado de Energía.[685]

Finalmente, y una vez deducidas las cantidades necesarias para solventar las partidas principales, descritas previamente, la misma ley establece los criterios que definen la fórmula de disposición del remanente del Fondo.

[685] Párrafo 3 del Apartado 1 y Apartado 2 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.

- Los costes correspondientes a la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares, como también a la gestión de su desmantelamiento y clausura, siempre y cuando la explotación haya cesado definitivamente con anterioridad al 1° de enero de 2010.

- Los costes correspondientes a la gestión de residuos radiactivos procedentes de las actividades de investigación que el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio determinen que han estado directamente relacionadas con la generación de energía núcleo-eléctrica, conjuntamente con las operaciones de desmantelamiento y clausura que deriven.

- Los costes derivados del reproceso del combustible gastado enviados al extranjero.

- Los demás que señale la norma.

Se procederán a financiar con el remanente los siguientes costes:

- Los costes correspondientes a la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares, como también a la gestión de su desmantelamiento y clausura, independientemente de la fecha de su generación.

- Las asignaciones destinadas a los municipios afectados por centrales nucleares o instalaciones de almacenamiento de combustible gastado o residuos radiactivos, en los términos establecidos por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

- Los importes correspondientes a los tributos que se devenguen en relación con las actividades de almacenamiento de residuos radiactivos y combustible gastado, con independencia de la fecha de su generación.

2.3.1.12. Alemania

2.3.1.12.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

En el marco normativo alemán destaca la Ley sobre el Uso Pacífico de la Energía Atómica y sobre la Protección contra los Riesgos (Ley de Energía Atómica) de 23 de diciembre de 1959.[686] En esta se define el concepto de residuo radiactivo, como *"aquellos materiales radiactivos residuales cuyo destino es su eliminación"*.[687] En materia de financiamiento dispone que *"Para cubrir los gastos necesarios relacionados con la operación y construcción de un repositorio de disposición final, el Estado federal tiene derecho a imponer contribuciones anticipadas a las personas que están obligadas a entregar los residuos nucleares a la repositorios"*.[688]

La ordenanza de prepago de repositorios establece la forma de financiamiento de la construcción y mantenimiento de las instalaciones que constituirán los repositorios de los desechos nucleares.

2.3.1.12.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos

El órgano a cargo de gestionar los proyectos de repositorios y de administrar los fondos derivados de la producción de desechos nucleares, es la Oficina Federal para la Protección de la Radiación (BFS), el cual se encuentra bajo la supervigilancia del Ministerio Federal de Medio Ambiente (BMU).

Las autoridades federales son responsables de la creación y funcionamiento de las instalaciones para el confinamiento seguro y disposición final de residuos radiactivos. La construcción y operación de estas instalaciones, que están bajo la responsabilidad de la Oficina Federal de Protección Radiológica, deben ser aprobados con arreglo a la planificación territorial, procedimiento llevado a cabo por el Länder en el que se encuentre la instalación nuclear.[689]

La Federación y los Länder podrán recurrir a los servicios de terceros para cumplir con sus obligaciones relativas a la eliminación de residuos. El Estado federal está

[686] Versión consolidada del 15 de julio de 1985. Última enmienda publicada en el mes de marzo de 2009.
[687] Sección 9ª del párrafo 2º de la Ley de Energía Atómica.
[688] Sección 21b de la Ley de Energía Atómica.
[689] OECD. *Nuclear Legislation in OECD Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*. Germany. 2009. p. 17.

expresamente autorizado para transferir total o parcialmente el cumplimiento de sus deberes en materia de disposición final a terceros, siempre que sean capaces de cumplir tales tareas.[690]

2.3.1.12.3. Tipo de financiamiento para la gestión de desechos nucleares, repositorios y desmantelamiento de la planta.

El financiamiento es privado para las centrales nucleares privadas y público para las centrales nucleares de investigación. Para cubrir los gastos necesarios relacionados con la operación y construcción de un repositorio de disposición final, el Estado federal tiene derecho a imponer contribuciones anticipadas a las personas que están obligadas a entregar los residuos nucleares a los repositorios.[691]

Los gastos de acondicionamiento, almacenamiento provisional y eliminación de residuos radiactivos de las centrales nucleares, incluidos los residuos procedentes del reprocesado de elementos combustibles en el extranjero, son financiados a través de los servicios de electricidad incorporando un ítem al precio que se paga por la prestación de este servicio.[692]

Todos los productores de residuos, incluidas las centrales eléctricas y el Gobierno Federal, (propietario de reactores utilizados en los centros de investigación públicos) están a cargo del financiamiento, de la planificación y preparación para la eliminación futura de residuos radiactivos, de conformidad con el "Decreto de Prepago de Repositorios". A su vez el artículo 21a de la Ley de Energía Atómica carga a los productores los gastos de funcionamiento de la instalación de almacenamiento de residuos.[693]

El Decreto de prepago de repositorios, dispone que el financiamiento del mismo se calculará en base a los gastos generados durante el año en curso, debiendo depositarse durante el tercer trimestre, de manera a cubrir los costos del año siguiente.

Para las centrales privadas: los costos derivados de la gestión de residuos son asumidos por la misma central nuclear, incorporándose en el precio de la tarifa eléctrica, mediante el pago de una tasa por la energía generada.

---

[690] *Ibidem.*
[691] *Ibidem.*
[692] OECD. Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries. [en línea]. Germany 2005 < http://bit.ly/chGCkM> [consuta: 23/nov/2009] (Trad. por los A.A.).
[693] *Ibidem.*

Además, para el caso de los repositorios, el financiamiento se obtiene de un fondo privado, costeado por los productores de los desechos nucleares, el cual es administrado por la Oficina Federal para la Protección de la Radiación (BfS), quien lo puede invertir en la Banca Privada.

Para las centrales de investigación públicas: los costos son asumidos por el Estado Federal.

Para el caso del desmantelamiento de centrales públicas dedicadas al desarrollo e investigación, el financiamiento es público. Respecto al desmantelamiento de las centrales nucleares privadas, estas deben implementar una reserva destinada a ese fin, la cual será administrada por ellas mismas bajo supervisión de la autoridad.

En el caso del financiamiento de la gestión de residuos nucleares, el costo de tal gestión se incorpora el costo en la tarifa eléctrica, en un monto proporcional a una tasa por la energía generada.

2.3.1.13. Suiza

2.3.1.13.1. Definición de legislación aplicable al financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

Suiza cuenta con la ley Suiza Federal sobre Energía Nuclear (21/marzo/2007), la Ordenanza sobre Energía Nuclear (10/diciembre/2004)[694], la Ordenanza sobre el Fondo de Desmantelamiento y el Fondo de Eliminación (7/diciembre/2007). Las principales disposiciones de la Ley sobre Energía Nuclear son las siguientes[695]: Los desechos radiactivos deben ser dispuestos de manera tal que asegure la permanente protección de los seres humanos y del medio ambiente. Se aplica el principio del que contamina paga y el de proximidad, de manera a que los desechos radiactivos producidos en Suiza se traten en Suiza. Los desechos radiactivos deben ser dispuestos en repositorios geológicos profundos.

La Ordenanza sobre Energía Nuclear regula y refuerza las disposiciones de la Ley sobre Energía Nuclear, destacándose lo siguiente: El gobierno federal especifica los criterios y objetivos del almacenamiento en un Plan Sectorial y define el procedimiento de determinación del lugar adecuado de almacenamiento de residuos

[694] Ambas normas entraron en vigor el 1/febrero/2005.
[695] Confederación Suiza. Departamento de Medio Ambienta, Transporte, Energía y Comunicaciones. Oficina Federal Suiza de Energía y Residuos Radiactivos (SFOE) [en línea] www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01275/01290/index.html?lang=en [consulta: 21/11/2009]. (Trad. por los A.A.)

radiactivos. La Ordenanza contiene una lista de resguardos fundamentales que debe cumplir el repositorio geológico profundo. El seguimiento y valorización del almacenamiento de residuos radiactivos debe ser garantizado hasta que el depósito haya sido cerrado de forma definitiva.

Respecto a la Ordenanza sobre el Fondo de desmantelamiento y el Fondo de eliminación[696], ésta fue aprobada el 7 de diciembre de 2007 por el Consejo Federal y entró en vigor el 1 de febrero de 2008.

Los productores de residuos radiactivos están legalmente obligados a gestionarlos bajo sus propias expensas. Los costes de eliminación que se presentan durante la operación de las centrales nucleares tienen que ser pagados por los operadores. Por el contrario, los costes de desmantelamiento de las centrales nucleares, y los costos asociados a la eliminación de los residuos radiactivos una vez la planta se haya cerrado, están cubiertos por dos fondos independientes: el Fondo para el desmantelamiento de instalaciones nucleares y el Fondo de eliminación de las plantas de energía nuclear. Ambos se financian mediante las contribuciones de los operadores.

La Ley sobre Energía Nuclear (2003), dispone que las partes responsables de la eliminación de los residuos radiactivos deben definir un programa de eliminación. Su artículo 32 insta a los productores de residuos a preparar un programa de gestión de residuos. La Ordenanza de Energía Nuclear dispone, a su vez, que este programa tiene que ser revisado y actualizado cada cinco años. El programa deberá indicar el procedimiento adecuado cuya finalidad será la eliminación geológica y la implementación de los repositorios.

El programa deberá ser revisado por la Oficina Federal de Energía (FOE) conforme lo dispone la Ley Federal de Inspección de Seguridad Nuclear (ENSI) y aprobado por el Consejo Federal. Junto con el plan sectorial para depósitos geológicos profundos, y los dos fondos de financiamiento para la gestión de residuos y desmantelamiento, el programa deberá establecer las condiciones necesarias para la gestión sostenible de los residuos y el financiamiento de las actividades asociadas.[697] / [698]

---

[696] Confederación Suiza. Departamento de Medio Ambienta, Transporte, Energía y Comunicaciones. Oficina Federal Suiza de Energía y Residuos Radiactivos (SFOE) [en línea] www.bfe.admin.ch/themen/00544/01717/index.html?lang=en [consulta: 21/11/2009]. (Trad. por los A.A.)

[697] NAGRA. El Programa de Gestión de Residuos [en línea] http://bit.ly/cDcJ1J [consulta: 22/11/2009]. (Trad. por los A.A).

[698] Confederación Suiza. Departamento de Medio Ambienta, Transporte, Energía y Comunicaciones. Oficina Federal Suiza de Energía y Residuos Radiactivos (SFOE) [en línea] http://bit.ly/a21c5Y [consulta: 21/11/2009]. (Trad. por los A.A.)

El Programa, que rige en la actualidad, se presentó en otoño de 2008, conjuntamente con propuestas sobre las zonas geológicas adecuadas para la implementación de repositorios profundos.

2.3.1.13.2. Institucionalidad a cargo del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.

La Ley de Energía Nuclear dispone que los productores de residuos son responsables de la gestión segura de sus residuos radiactivos. En 1972, los operadores de las plantas de energía nuclear y la Confederación Suiza (responsables de los residuos radiactivos de la medicina, industria e investigación), crearon la Cooperativa Nacional para la Eliminación de Residuos Radiactivos (NAGRA) para realizar esta tarea.

El principio rector que rige NAGRA establece que los residuos radiactivos procedentes de Suiza tienen que ser desechados de una manera que garantice la protección a largo plazo del hombre y el medio ambiente[699]. Ello significa que NAGRA deberá realizar las siguientes actividades: [700]

- Preparar los inventarios de todos los residuos radiactivos provenientes de las plantas de energía nuclear en Suiza y de la utilización de materiales radiactivos en la medicina, la industria y la investigación.

- Planificar la construcción de repositorios geológicos profundos para todas las categorías de residuos.

- Llevar a cabo investigaciones geológicas.

- Resguardar los lugares potencialmente ideales para la implementación de depósitos geológicos.

- Proporcionar información abierta y transparente al público en general.

- Promover la colaboración internacional en áreas clave de la investigación

Los miembros de NAGRA son:

- Confederación Suiza (representada por el Departamento de Asuntos Interiores)

[699] NAGRA. El Programa de Gestión de Residuos. *op. cit.*
[700] *Ibidem.*

- BKW FMB Energie AG, Bern (Mühleberg NPP)
- Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG, Däniken (Gösgen NPP)
- Kernkraftwerk Leibstadt AG, Leibstadt (Leibstadt NPP)
- Axpo AG, Baden (Beznau I and II NPPs)
- Energie Ouest Suisse, Lausanne

Las actividades de NAGRA son financiadas por los seis miembros de la Cooperativa, de conformidad con el principio del que contamina paga.

Esta entidad está también a cargo de la administración del financiamiento.

2.3.1.13.3. Tipo de financiamiento de la gestión de desechos radiactivos y del desmantelamiento de la planta nuclear.

La Ley sobre Energía Nuclear establece que los productores de residuos radiactivos deben satisfacer los gastos en que se incurran para el desmantelamiento de la instalación nuclear y para la eliminación de los residuos radiactivos (en aplicación del principio de "quien contamina paga").[701]

Los productores de residuos radiactivos, es decir, los operadores de las plantas de energía nuclear, están obligados a definir los requisitos técnicos y científicos para su eliminación segura, construir las instalaciones de almacenamiento necesarias y asumir los costos asociados, todo lo cual se debe establecer en un Programa de Eliminación de Residuos de carácter quinquenal[702], mientras que el gobierno federal es el responsable de los residuos procedentes de otras fuentes (salud, industria, investigación).

Los aspectos referentes al financiamiento están esbozados, en líneas generales, en la Ley Federal de Energía Nuclear, mientras que la Ordenanza sobre el Fondo de Desmantelamiento y el Fondo de Eliminación de fecha 7 de diciembre 2007 define los métodos de financiamiento en detalle.

La ley antes mencionada establece la creación de dos fondos independientes, formados por las contribuciones anuales de los operadores de instalaciones nucleares. Se trata del Fondo de Desmantelamiento y del Fondo de Eliminación.

[701] Confederación Suiza. Departamento de Medio Ambienta, Transporte, Energía y Comunicaciones. Oficina Federal Suiza de Energía y Residuos Radiactivos (SFOE).
[702] Artículo 32 Ley sobre Energía Nuclear.

El Fondo de Desmantelamiento[703] fue establecido en 1984 para asegurar el desmantelamiento y disolución posterior de instalaciones nucleares, y la eliminación de los residuos resultantes.

El objetivo perseguido por la implementación del fondo de desmantelamiento es garantizar los costes de desmantelamiento y fragmentación de las instalaciones nucleares y para la eliminación de los residuos resultantes. Los propietarios de Beznau 1 y 2, Mühleberg, Gösgen Leibstadt y plantas de energía nuclear y de la instalación de almacenamiento provisional de residuos en Würenlingen están obligados a pagar las contribuciones anuales a dicho fondo.

A partir del 1 de febrero de 2008, las ordenanzas y reglamentos existentes para los dos fondos se combinaron en una sola ordenanza (Ordenanza Federal Suiza sobre el fondo de desmantelamiento y el Fondo de gestión de residuos). Esta Ordenanza estableció el aumento de la duración de vida previsto de las centrales nucleares de 40 a 50 años. La importancia de la determinación de la duración de la planta dice relación con la conformación la base para el cálculo de los costos asociados con el desmantelamiento y eliminación de residuos, y para especificar las contribuciones a pagar en los dos fondos.

Según los cálculos, los costes de desmantelamiento de las cinco plantas de energía nuclear y la central de instalación de almacenamiento provisional de residuos en el importe de Würenlingen ascienden a aproximadamente 2,2 millones de francos suizos (base de precios de 2006). Estos gastos tienen que ser cubiertos en su totalidad por los dos fondos.

El Fondo de Eliminación[704] fue establecido en el año 2000. El propósito del Fondo de eliminación de residuos es garantizar los costes de eliminación de residuos nucleares procedentes de la explotación de las instalaciones nucleares, así como de los elementos de combustible gastado después de la clausura de una planta de energía nuclear.

El objetivo perseguido mediante la implementación de este Fondo de eliminación de residuos es garantizar los costes de eliminación de residuos nucleares y los elementos de combustible a raíz del desmantelamiento de una planta de energía nuclear. Los componentes de coste más importante son los contenedores para el transporte y almacenamiento, el transporte, el reprocesamiento y la eliminación de los elementos de combustible gastado, de tratamiento de residuos y centrales de almacenamiento

[703] Confederación Suiza. Departamento de Medio Ambienta, Transporte, Energía y Comunicaciones. Oficina Federal Suiza de Energía y Residuos Radiactivos (SFOE).
[704] Confederación Suiza. Departamento de Medio Ambienta, Transporte, Energía y Comunicaciones. Oficina Federal Suiza de Energía y Residuos Radiactivos (SFOE).

provisional y el almacenamiento final de residuos radiactivos en dos lugares de almacenamiento geológico profundo.

Los propietarios de las cinco plantas de energía nuclear en Suiza (Beznau 1 y 2, Mühleberg, Leibstadt y Gösgen) están obligados a pagar las contribuciones anuales a dicho fondo.

El importe de las contribuciones para el Fondo de eliminación se basa en los costes de eliminación anticipada, que según los últimos cálculos, será de aproximadamente 13,4 mil millones de francos suizos (base de precios de 2006).

A finales de 2007, se había gastado 4.503 millones de francos suizos (en concepto de, investigación y tareas preparatorias, reprocesamiento de los elementos de combustible gastado, construcción de una instalación central de almacenamiento provisional, adquisición de contenedores de transporte y almacenamiento). Por otra parte, deberán contemplarse a partir del año 2008 hasta el momento de clausura un monto que asciende a 2539 millones de francos suizos), esta cantidad tiene que ser cubierta por los operadores. En consecuencia, el fondo tiene que asegurarse en 6.308 millones de francos suizos.

Los gastos actuales y futuros de la gestión de residuos de las centrales nucleares se determinan por el precio actual de la electricidad. Por cada KW/h de electricidad de origen nuclear, el consumidor paga alrededor de 1 céntimo de euro por la gestión de residuos (tanto respecto de la gestión de eliminación durante el funcionamiento de la planta como respecto del desmantelamiento y eliminación definitiva una vez cesa el funcionamiento).[705]

[705] NAGRA. El Programa de Gestión de Residuos [en línea] < http://bit.ly/bu47eI> [consulta: 22/11/2009]. (Trad. por los A.A.)

2.3.2. Conclusiones respecto de las fórmulas de financiamiento identificadas en el derecho comparado para la gestión de residuos, repositorios y desmantelamiento de plantas nucleares.

De la legislación comparada analizada se puede concluir que en todos los casos estudiados los Estados han dictado una normativa especial referida al financiamiento de la gestión de desechos radiactivos y del desmantelamiento, y creado una institucionalidad encargada de la administración del mismo.

Respecto del marco institucional encargado de la administración del financiamiento es posible observar que en la mayoría de los casos se trata de una entidad pública y cuando no, el Estado tiene una gran participación a través del control del trabajo efectuado por ésta. En varios casos también el órgano encargado de la administración del financiamiento es el responsable de la gestión.

La definición del financiamiento varía de un país al otro, sin embargo en todos existe claridad sobre la manera de solventar los costos de la gestión de residuos radiactivos durante todo su ciclo de vida, incluido el desmantelamiento de la planta nuclear. Al mismo tiempo se puede advertir la existencia de ciertos parámetros comunes, los que se destacan a continuación:

- ***El financiamiento de los costos de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento*** es de responsabilidad del generador de residuos o explotador de la planta, respectivamente, en virtud del principio del que contamina paga.

- El financiamiento de la gestión de residuos radiactivos se asegura a través de la constitución de ***fondos***, sólo en Suiza existe una figura diferente: el programa de financiamiento que debe elaborar el explotador. También existen fondos para el desmantelamiento, así como ***seguros, garantías*** y, en ciertos casos, ***subsidios*** del Estado.

- ***Estos fondos tienen distintos destinos,*** la gestión, el desmantelamiento o ambos. Hay también ciertas figuras especiales como el fondo belga creado para el caso de insolvencia o quiebra de la planta nuclear.

- ***El cálculo del financiamiento,*** se realiza en base a la estimación de costos futuros o bien en relación al porcentaje de energía generada. En varios casos el costo del aporte se carga a la tarifa eléctrica. En el caso de Francia, la que cuenta con un mercado regulado y otro desregulado, se considera que los costos de la gestión de desechos radiactivos y del desmantelamiento son parte

de los costos de producción. En Alemania estos costos se incorporan a la tarifa en base a una tasa definida en relación a la energía generada.

- ***La definición del fondo se establece por ley o en un plan de gestión nacional,*** el monto del aporte que debe efectuar el explotador lo define el mismo con aprobación de la autoridad o la autoridad directamente.

2.4. Tabla resumen de los distintos modelos de financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de la planta en el derecho comparado.

PAIS	SISTEMA	OBSERVACIONES
Alemania	**Fondos individuales** (de eliminación, desmantelamiento, a cargo de cada generador). **Fondo para la creación de repositorios geológicos.**	Financiamiento con cargo a la tarifa eléctrica. Respecto al desmantelamiento se cobra un impuesto a las centrales.
Argentina	**Fondo nacional global** formado con los montos enterados por los generadores de residuos.	Las cantidades aportadas se basan en criterios como el volumen o radioactividad de los residuos.
Bélgica	**Fondo especial de eliminación y desmantelamiento.** **Fondo de insolvencia.** Ambos se conforman con aportes de los generadores de residuos	Los Fondos de eliminación y complementarios se conforman de contribuciones anuales en base al volumen y tipo de residuo. El Fondo de desmantelamiento se forma de acuerdo a lo establecido por cada operador, mediante un acuerdo que celebra con ONDRAF. El financiamiento se realiza con cargo a la tarifa eléctrica.
Brasil	**Fondo nacional global** que se constituye con los aportes entregados por los generadores de desechos.	Los criterios para solventar los planes de residuos, se asimilan a los utilizados en Argentina, ya que toman en consideración el volumen de los desechos, la radiactividad de los mismos, entre otros.
Canadá	**Fondos fiduciarios** destinados a la gestión de desechos radiactivos, formado por los aportes de generadores de residuos. **Fondo de desmantelamiento,** conformado mediante el establecimiento de garantías	Se prescribe por ley la creación de una entidad especial para administrar los fondos fiduciarios, la *Nuclear Waste Management Organization*.

	financieras.	
Corea del Sur	**Fondo nacional global** para la gestión de los desechos. Son los generadores de los residuos quienes deben velar por la cobertura económica de la gestión de desechos.	Se establece un Comité especial para la administración del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos, bajo dependencia del Ministerio de Comercio, Industria y Energía. En lo que concierne a la eliminación final de los desechos, éstas corresponde a una organización conformada por los generadores de residuos, la *Korea Radioactive Waste Management Corporation.*
España	**Fondo para la financiación de las actividades del plan general de residuos radiactivos** formado en base al aporte de los generadores.	Los costos de la gestión se incluyen en la tarifa eléctrica recalculado cada año y otras partidas.
Estados Unidos	**Fondo nacional** de Eliminación (*Nuclear Waste Fund*) para la Gestión de los Residuos de Alto Nivel. Son los generadores de los residuos que deben velar por la cobertura económica de la gestión de desechos. **Fondo de desmantelamiento.**	La *Office of Civilian Radioactive Waste Management,* como órgano dependiente del Departamento de Energía, tiene a su cargo el *Nuclear Waste Fund* el cual se financia con una tasa determinada en base a los costos futuros requeridos para la gestión de residuos a los generadores de desechos. El Estado entrega subsidios para el desmantelamiento.
Finlandia	**Fondo nacional para la disposición final de desechos radiactivos,** "*State Nuclear Waste Management Fund*", financiado por los generadores de los residuos.	La determinación de las consideraciones económicas futuras por parte del Ministerio de Comercio e Industria, se visualizan para cuantificar los recursos financieros necesarios para enterar al Fondo y cumplir de esta forma con la eliminación final de los desechos, la cual se lleva a cabo por la empresa privada Posiva Oy, la cual está compuesta por los actores del mercado núcleo-eléctrico.
Francia	**Fondos especializados** establecidos de forma individual por cada productor de	El financiamiento del fondo se obtiene en la forma que establezca el Plan

	residuos nucleares. Son los generadores de los residuos que deben velar por la cobertura económica de la gestión de desechos.	Nacional para la Gestión de Materiales y Residuos Radiactivos.
Reino Unido	**Fondo Nacional** para la gestión de los desechos nucleares y el desmantelamiento. Son los generadores de los residuos que debe velar por la cobertura económica de la gestión de desechos. **Cuenta de financiamiento para el desmantelamiento** (aportada por la Secretaría de Estado).	La NDA como organismo público, se encarga de administrar el Fondo Nacional, el cual debe solventarse en base a los aportes definidos por dicha entidad, en consideración a las estimaciones de costos futuros.
República Checa	Se contempla una **Cuenta Nuclear,** que contiene varios fondos derivados de distintas fuentes con la finalidad de solventar los costos de eliminación de residuos y desmantelamiento de la planta.	RAWRA, ente público dependiente del Ministerio de Finanzas presta servicios a los generadores, los cuales pagan una cantidad determinada a una cuenta nuclear, bajo administración de la misma entidad.
Suiza	Programa de financiamiento determinado por cada operador para el caso de la gestión de desechos durante el funcionamiento de la planta nuclear y establecimiento de Fondos especializados una vez que cesa el funcionamiento. **Fondo de desmantelamiento** y **fondo de eliminación**. Por ende es el generador de los desechos el que asume el costo de la gestión.	El financiamiento se obtiene de un porcentaje de la tarifa eléctrica.

3. Identificación de puntos críticos de los modelos de financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento en relación a la realidad chilena.

Luego de analizar la legislación comparada se plantean ciertas interrogantes sobre la manera de implementar el financiamiento para la gestión de los residuos radiactivos, así como del desmantelamiento de la planta nuclear. Estas involucran principalmente aspectos institucionales y normativos destinados a definir la constitución del financiamiento.

- ¿Quién debe administrar el financiamiento de la gestión de los desechos radiactivos y del desmantelamiento?, ¿debe ser la misma entidad encargada de la gestión?, ¿debe ser una entidad pública o privada?, ¿debe ser distinto del órgano regulador de la energía nuclear?
- ¿Quién debe asumir los costos?, ¿cómo implementar el principio del que contamina paga en materia de generación núcleo-eléctrica?
- ¿Quién debe definir el monto del aporte?
- ¿Dónde se debe establecer la obligación de realizar el aporte, en la ley o en un plan de gestión?
- ¿Cómo se calcula el aporte?, ¿cuál debe ser el destino del aporte: gestión y/o desmantelamiento?
- ¿Es posible incluir los costos en la tarifa eléctrica?

No existiendo actualmente en nuestro país un desarrollo de la núcleo-electricidad, sino sólo un desarrollo nuclear en materia de investigación, resulta altamente probable que el marco institucional actual no esté preparado para asumir las tareas de gestión de residuos radiactivos, ni la administración del financiamiento de esta actividad, y del desmantelamiento de una planta nuclear.

En los casos analizados se observa además una gran separación del órgano regulador con la entidad encargada de la administración del financiamiento, cuestión que en nuestro país requiere de una modificación legal, al encontrarse estas funciones concentradas en la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN).

Si bien existe una institucionalidad encargada de estas tareas, los volúmenes de desechos y el monto del financiamiento, no tienen relación con los que se alcanzarán en el caso que decida desarrollarse la energía nuclear de potencia en nuestro país.

En materia de constitución del financiamiento propiamente tal, no contamos con un marco normativo que responda a las necesidades de definición del financiamiento, modalidades de pago, montos, etc. Si bien es cierto que los actuales operadores asumen ciertos costos de la gestión de sus residuos, el Estado asume también su parte, pese a lo establecido en la ley de seguridad nuclear que entrega al explotador de la planta esta responsabilidad. Este inconveniente se produce por la falta de precisión o vacíos legales existentes en la materia.

Es por lo anterior que se necesita una consagración legal del principio que establezca además los mecanismos para su implementación, tal como sucede en la legislación comparada.

4. Incorporación y gestión del manejo de desechos, desmantelamiento y repositorio y su incorporación en el marco legal eléctrico como componente tarifario en el derecho chileno

Conforme a lo expuesto en el capítulo anterior, el desarrollo de la núcleo-electricidad en Chile enfrenta a nuestro marco legal a ciertos desafíos en materia institucional y normativa. En lo que respecta al financiamiento de desechos radiactivos esto se hace evidente al no contar actualmente con una institucionalidad responsable de esta temática, al menos en los términos existentes en países que desarrollan este tipo de energía. Además, carecemos de un marco normativo que defina el financiamiento necesario para cubrir los costos de esta actividad y no contamos con norma alguna en lo que se refiere al desmantelamiento de la planta nuclear, ni a su financiamiento.

En este contexto, el presente capítulo se encargará de describir el estado actual de estas materias en nuestro país, en miras a detectar los vacíos normativos que deben ser cubiertos en caso de incorporar la energía nuclear a nuestra matriz energética. Para esto se han planteado ciertas preguntas referidas al marco institucional y al marco legal relativo a la definición del financiamiento, las cuales se desprenden de los puntos críticos observados en el capítulo anterior.

Las respuestas se construirán comparando la realidad chilena a la luz de las soluciones aportadas por el derecho comparado.

- Marco Institucional

    - ¿El órgano encargado de la gestión de los desechos radiactivos y del desmantelamiento, también administra los fondos destinados a financiar estas actividades?
    - ¿El órgano que administra el financiamiento es público o privado?
    - ¿El órgano que administra los fondos es el órgano regulador de la energía nuclear u otro distinto?

- Definición legal del financiamiento

    - ¿Quién asume el costo del financiamiento?
    - ¿Quién define el monto del aporte?
    - ¿Dónde se establece la obligación de realizar el aporte?
    - ¿Cómo se calcula el aporte?
    - ¿Cuál es el destino del aporte: gestión y/o desmantelamiento?

Los cuerpos normativos analizados en este capítulo son los que a continuación se describen:

- Ley que crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear[706].
- Reglamento Sanitario para el Manejo de Residuos Peligrosos[707].
- Ley que Crea la Comisión Nacional de Energía[708].
- Ley de Seguridad Nuclear[709].
- Proyecto de Ley que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente[710].
- Proyecto de Ley sobre Energía Nuclear[711].
- Proyecto de Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras[712].

Todos estos cuerpos normativos tienen cierta relación con las temáticas en estudio, sea la gestión de residuos radiactivos, el desmantelamiento de plantas nucleares y/o su financiamiento. Así el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos[713] es el que más se acerca al tema de la gestión de residuos propiamente tal. El Proyecto de Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras[714] contiene por su parte, regulaciones sobre métodos de financiamiento para el cierre y desmantelamiento de una instalación minera, las que podrían eventualmente servir de modelo a la legislación nuclear que trate el desmantelamiento. En tanto, la Ley que crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear, contiene las bases de la conformación de los órganos pertenecientes a la administración del Estado vinculados al tema de gestión de residuos nucleares.

Un análisis previo merece el proyecto de Ley que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente,[715] pues aparentemente contempla algunas figuras interesantes que se acercan a los temas en estudio. En este sentido, cabe destacar la labor de la Superintendencia, la cual tendrá funciones de fiscalización, potestad que puede cubrir el control de cumplimiento de la normativa nuclear en sus aspectos medioambientales, específicamente en el caso de los residuos radiactivos y del desmantelamiento de las instalaciones nucleares (artículo 22)[716].

---

[706] Ley Nº 16.319 el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de 23 de octubre de 1965.
[707] Decreto Supremo Nº 148 del Ministerio de Salud de 16 de junio de 2004.
[708] Decreto Ley Nº 2224 del Ministerio de Minería de 8 de junio de 1978.
[709] Ley Nº 18.302 del Ministerio de Minería de 2 de mayo de 1984.
[710] Boletín N° 5947-12.
[711] Boletín N°5966-08.
[712] Boletín N°6415-08.
[713] Decreto Supremo Nº 148 del Ministerio de Salud de 16 de junio de 2004.
[714] Boletín N°6415-08.
[715] Boletín N° 5947-12.
[716] "Párrafo 2°: De las inspecciones, mediciones y análisis. Artículo 22.- La Superintendencia realizará la ejecución de las inspecciones, mediciones y análisis que se requieran para el cumplimiento de los

En el tema de financiamiento, este cuerpo normativo establece en su Título V la creación de un fondo, destinado a la protección ambiental. Si bien éste no está previsto para el financiamiento de la gestión de residuos radiactivos, es una figura que debe analizarse a fin de determinar si puede ser o no útil al diseño de un modelo destinado para este objetivo. En esta perspectiva, se puede señalar que el propósito que persigue la creación de este fondo de protección ambiental es el de financiar total o parcialmente proyectos o actividades orientados a la protección o reparación del medio ambiente, la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental (artículo 66). Se trata de un fondo público que se obtiene por el promotor del proyecto mediante preselección del Director Ejecutivo de CONAMA o mediante concurso público (artículo 67). La Administración del fondo está a cargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (artículo 66).

En lo que respecta al origen del fondo se puede indicar que éste se constituye de diversas partidas, conforme lo establece el artículo 68 de este proyecto:

- Herencias, legados y donaciones, cualquiera sea su origen. En el caso de las donaciones, ellas estarán exentas del trámite de insinuación.
- Recursos destinados para este efecto, en la Ley de Presupuestos de la Nación.
- Recursos que se le asignen en otras leyes.
- Cualquier otro aporte proveniente de entidades públicas o privadas, nacionales o extranjeras, a cualquier título.

Del análisis previamente efectuado, la concepción del Fondo de Protección Ambiental no parecería el más adecuado para el financiamiento de la gestión de residuos radiactivos o incluso, el desmantelamiento. La razón principal que justifica tal afirmación es la aparente inexactitud del valor del fondo, el cual se destina a un financiamiento total o parcial cuyos orígenes son también aleatorios (herencias, legados). Por otra parte, no se establece ningún tipo de obligación de aporte para los directamente responsables de lo que se pretende reparar, lo que deja fuera toda aplicación del principio del que contamina paga. Por último, sería menester prever la permanente actualización de los fondos frente a la inflación u otras variabilidades económicas que puedan depreciar su valor, de manera de asegurar la cobertura de los costos reales de las actividades que se pretenden financiar.

Luego de identificadas las preguntas consideradas como relevantes para el diseño de una normativa adaptada al desarrollo de la núcleo-electricidad en nuestro país, así como la normativa nacional susceptible de ser analizada, se da paso a una síntesis del análisis efectuado en el capítulo anterior sobre el derecho comparado que permitirá

programas y subprogramas de fiscalización, como también encomendará dichas acciones a los organismos sectoriales, cuando corresponda".

conocer cómo las legislaciones extranjeras han dado respuesta a dichas interrogantes. Con esta información se procederá a responder los cuestionamientos planteados conforme a la legislación nacional vigente y en proyecto, en una mirada comparada respecto de los modelos extranjeros. Luego se analizará la posibilidad de incorporar los costos de la gestión de los residuos radiactivos y el desmantelamiento de plantas nucleares en la tarifa eléctrica, conforme a la regulación eléctrica chilena. Finalmente se abrirá el debate respecto de los vacíos legales identificados en estas temáticas ante la eventual incorporación de la energía nuclear a la matriz eléctrica nacional.

En este contexto el esquema de estudio del presente capítulo es el siguiente:

- Marco institucional a cargo de la administración del financiamiento de la gestión de los residuos radiactivos y del desmantelamiento de las plantas nucleares.
- Mecanismo de constitución de los aportes destinados a financiar los costos de estas actividades.
- Incorporación de las cargas económicas a la tarifa eléctrica.
- Vacíos legales y contradicciones.

4.1. Marco institucional de la gestión de los residuos radiactivos, del desmantelamiento de la planta nuclear y administración de su financiamiento.

4.1.1. Órgano responsable de la gestión de los desechos radiactivos, del desmantelamiento de la planta nuclear y de la administración el financiamiento: ¿El órgano encargado de la gestión de los desechos radiactivos y del desmantelamiento, también administra los fondos estinados a financiar estas actividades?

4.1.1.2.Derecho Comparado

Según estudio comparado realizado respecto de 13 países,[717] se advierte que la administración del financiamiento puede asumirla el mismo órgano encargado de la gestión o bien uno diferente, como por ejemplo en Finlandia. En este caso, la entidad responsable de la gestión material de los desechos radiactivos es de carácter privada, Posiva Oy[718], mientras que el financiamiento lo administra una entidad distinta, de carácter pública, el Ministerio de Empleo y Economía, quien además es el encargado

[717] Alemania, Argentina, Brasil, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Italia, Suiza, Reino Unido, República Checa.
[718] OCDE *Radioactive waste management and decommissioning in Finland*. 2009, report, p. 2.

de elaborar un programa de gestión de los residuos radiactivos de largo plazo[719], según lo prescrito en la ley de energía nuclear, *Nuclear Energy Act* 990/1987.[720]

Otros modelos han optado por reunir la gestión y la administración de su financiamiento en un mismo órgano, como en el caso de Argentina y Brasil. En ambos países, éste es de carácter público, la Comisión Nacional de Energía Nuclear, dependiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en Brasil[721] y la Comisión Nacional de Energía Atómica, dependiente del Ministerio de Asuntos Técnicos, en Argentina.[722]

4.1.2.2. Derecho Chileno

El artículo 7 de la ley 16.319 que crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear establece que:

> *"Las funciones y atribuciones que la ley entrega al Estado respecto de la exploración, explotación y beneficio de materiales atómicos naturales, del comercio de dichos materiales ya extraídos y sus concentrados, derivados y compuestos, y del acopio de materiales de interés nuclear, solamente podrían ejercerse por la Comisión. La producción de energía nuclear con fines pacíficos sólo podrá realizarse por la Comisión o con su licencia previa. La Comisión podrá realizar dicha producción por sí o por medio o en unión de terceros"*. Dicho texto legal la define además, como un órgano autónomo que se relaciona con el gobierno por intermedio del Ministerio de Energía y precisa que su objetivo es el de atender "*los problemas relacionados con la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de la energía atómica y de los materiales fértiles, fisionables y radiactivos".*[723]

El artículo 32 de la Ley de Seguridad Nuclear agrega en este sentido, que la CCHEN se hará cargo de los depósitos de "larga vida" y los particulares serán responsables en los demás casos. A ese respecto, cabe recordar que el Reglamento Sanitario sobre Residuos Peligrosos[724] prescribe que son los propios generadores de desechos

[719] OECD. *Radioactive waste management and decommissioning in Finland*. 2009, report, p. 1.
[720] Chapter 7. Section 35 – 53
[721] Encargada de la implementación de la gestión de residuos y de la administración del Fondo Nacional de Energía Nuclear, creada por Ley n°4.118 de 1962.
[722] La cual tiene la responsabilidad de la gestión de residuos y se encarga del financiamiento definido en el programa nacional de gestión de residuos radiactivos, según lo establecido en Ley 25.018, art. 13.
[723] Artículo 4 Ley Nº 20.402 que crea el Ministerio de Energía, según la cual esta Comisión pasa a depender el Ministerio de Energía, en reemplazo de su estructura anterior que la hacía depender del Ministerio de Minería.
[724] Decreto Supremo Nº 148 del Ministerio de Salud.

peligrosos, los que se encargan de su gestión a través de un plan de manejo (art. 25). Además el Reglamento señala que las instalaciones no nucleares, esto es, todas aquellas que no poseen un reactor nuclear, pero que producen residuos como consecuencia de las utilizaciones que le dan a las sustancias atómicas y a los radioisótopos, deben encargarse de la gestión de sus residuos radiactivos en una primera etapa. Esta consiste en tratar y almacenar los desechos, con el objetivo de minimizar el impacto que pueda tener en la salud de la población y el medio ambiente (art.26, art.29 y siguientes). Luego deben entregar dichos residuos radiactivos a la CCHEN para su almacenamiento y eliminación final. Esta labor la realizan en conformidad a un Plan de Manejo prescrito en el Decreto Supremo Nº 148 del año 2004 del Ministerio de Salud, que establece el Reglamento Sanitario sobre el Manejo de los Residuos Peligrosos: *"Las instalaciones, establecimientos o actividades que anualmente den origen a más de 12 kilogramos de residuos tóxicos agudos o a más de 12 toneladas de residuos peligrosos que presenten cualquier otra característica de peligrosidad deberán contar con un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos presentado ante la Autoridad Sanitaria"* (art.25). En este sentido se observa una cierta similitud con el modelo canadiense respecto a la obligación del generador, de elaborar un plan de manejo que debe ser aprobado por la autoridad.

El actual marco legal entrega también al Ministerio de Salud ciertas competencias en esta materia las cuales deben ser coordinadas con la Comisión Chilena de Energía Nuclear, ya que como lo establece el artículo 2 inciso segundo del Decreto Supremo Nº 148 "*Los órganos del Estado que ejerzan funciones relacionadas con los residuos peligrosos deberán cumplir tales cometidos coordinadamente propendiendo a la unidad de acción y a la colaboración recíproca".*

Conforme al marco legal descrito se puede concluir que si bien existen ciertas competencias radicadas en salud y ciertas actividades relacionadas con la gestión de residuos radiactivos que pueden efectuar los particulares, es la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) quien concentra las competencias en materia de regulación nuclear, gestión de los desechos radiactivos y administración de su financiamiento.

Para esto la CCHEN creó SEGEDRA, Sección de Gestión de Desechos Radiactivos, institución para la cual "*no existe un cuerpo normativo (legal) que establezca las facultades y funciones de SEGEDRA. Ésta es parte de la estructura orgánica de la CCHEN, y corresponde a un servicio que la comisión entrega a privados que generan desechos radiactivos".*[725]

La gestión de los residuos radiactivos realizada por La CCHEN constituye un servicio prestado a los operadores, los cuales deben pagar al Estado los montos establecidos

[725] Entrevista efectuada en la CCHEN el 15 de diciembre de 2009. *op. cit*.

por esta entidad. A su vez, del presupuesto estatal que recibe destinado a la CCHEN, ésta destina un monto al financiamiento de estas actividades que recibe. En la práctica el aporte de los operadores no cubre los costos reales de la gestión, con lo cual el Estado termina asumiendo la diferencia[726].

Por lo tanto, en la actualidad es La CCHEN la entidad encargada de la gestión de los desechos radiactivos y de la administración de su financiamiento.

En cuanto al desmantelamiento, si bien prácticamente no existen leyes al respecto, la normativa de seguridad nuclear establece ciertas formalidades habilitantes destinadas a verificar las condiciones de seguridad de las personas y del medio ambiente en esta etapa: *"Para el emplazamiento, construcción, puesta en servicio, operación, cierre y desmantelamiento, en su caso, de las instalaciones, plantas, centros, laboratorios, establecimientos y equipos nucleares y para el ingreso o tránsito por el territorio nacional, zona económica exclusiva, mar presencial y espacio aéreo nacional de sustancias nucleares o materiales radiactivos se necesitará autorización de la Comisión, con las formalidades y en las condiciones que se determinan en esta ley y en sus reglamentos. Las centrales nucleares de potencia, las plantas de enriquecimiento, las plantas de reprocesamiento y los depósitos de almacenamiento permanente de desechos radiactivos, deberán ser autorizados por Decreto Supremo, expedido por intermedio del Ministerio de Minería*[727]. *Para el otorgamiento de dichas autorizaciones deberán considerarse, en todo caso, las condiciones que permitan preservar un medio ambiente libre de contaminación. En el caso de la autorización para el transporte de las sustancias señaladas en el inciso primero, se deberá dejar constancia de las fechas en que éste se efectuará, las rutas y áreas a utilizar, las características de la carga y las medidas de seguridad y de contingencia. No podrá autorizarse el almacenamiento de desechos nucleares o radiactivos en territorio nacional, salvo que se produzcan u originen en él".* (art.4, ley 18.302)

La normativa en discusión[728] no aporta muchas propuestas respecto a la estructura orgánica que debiera estar a cargo de la gestión de residuos radiactivos y/o desmantelamiento, ni menos de financiamiento y la entidad que lo administra, salvo ciertas referencias a planes de manejo destinados a cubrir los costos de la gestión.

[726] Entrevista realizada a Jefe de la Sección de Gestión de Desechos Radiactivos, SEGEDRA, de la CCHEN, el 21 de enero de 2010.
[727] Modificado por el artículo 4 de la Ley Nº 20.402 que crea el Ministerio de Energía, según la cual esta Comisión pasa a depender el Ministerio de Energía, en reemplazo de su estructura anterior que la hacía depender del Ministerio de Minería.
[728] Ley Nº 18.302 de Seguridad Nuclear, Decreto Supremo Nº 148 del Ministerio de Salud, que contiene el Reglamento Sanitario para el Manejo de Residuos Peligrosos y Ley 16.319 que crea la CCHEN.

En lo que se refiere al Proyecto de Ley de Energía Nuclear,[729] este es bastante ambigüo al momento de pronunciarse sobre la autoridad competente para gestionar los desechos radiactivos, más aun en lo que dice relación al financiamiento: *"La gestión de residuos radiactivos corresponderá a quien tenga autorización para tales efectos, la cual deberá solicitarse conforme a la normativa de esta ley y su reglamento",* (art.13).

En cuanto al Proyecto de Ley que regula el cierre de instalaciones mineras**[730]**, el cual podría servir de modelo a la normativa de desmantelamiento de la planta nuclear, señala que el órgano encargado de revisar y aprobar los aspectos técnicos y financieros de los proyectos de planes de cierre de faenas e instalaciones mineras y sus modificaciones, como asimismo, de velar por el cumplimiento de las obligaciones contraídas por la empresa minera dentro del marco de los planes de cierre aprobados, es el Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN (Título II). Según el Título XIII de este mismo proyecto, referido al Fondo para la implementación de medidas de seguimiento y control, establece que es esta entidad, la encargada de administrar el fondo sin perjuicio de que éste, mediante licitación pública, pueda delegar en terceros dicha función (artículo 61 inciso 2).

4.1.2 La naturaleza del órgano responsable de administrar el financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y/o desmantelamiento: ¿El órgano que administra los fondos debe ser público o privado?

4.1.2.1.Derecho Comparado

Según lo expuesto en el punto anterior se puede destacar que aún cuando, en general, hay una marcada intervención del sector público en la gestión y administración financiera de la gestión de residuos radiactivos, en algunos países, principalmente europeos, ha surgido una nueva tendencia a la privatización de tal actividad. Lo anterior se explica por el mandato europeo de liberalizar el mercado eléctrico.[731]En relación a ello, se encuentran casos en que, o bien es la implementación de la gestión de residuos propiamente tal la que se entrega a empresas privadas, como es el caso finlandés con Posiva Oy,[732] o bien la administración del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos, como es el caso de Francia, en que son las mismas empresas generadoras de electricidad las encargadas de dicha tarea.[733]

---

[729] Boletín N°5966-08. Moción Senador Jaime Orpis, 2008.
[730] Boletín N°6415-08.
[731] Directive du Parlement européen et du Conseil du 19 décembre 1996 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité (96/92/CE). JOCE L 27 del 30 de Enero de 1997, p. 20.
[732] OECD. *Radioactive Waste Management and Decommissioning in Finland.* Report. 2009, p. 2.
[733] OECD. *Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries*. France, 2007. p. 15.

Paralelo a este proceso de privatización, se observa una amplia supervisión pública de dichas actividades cuando éstas son ejecutadas por privados, ya sea de manera directa o indirecta. Por ejemplo en Finlandia, la implementación de la gestión de residuos radiactivos está en manos de una empresa privada, la cual a su vez es directamente supervisada por el Ministerio de Comercio e Industria.[734] En Francia asimismo, se contempla un órgano controlador, laComisión Nacional de Evaluación Financiera.[735]

Es interesante destacar casos en que se ha logrado una figura ecléctica, como en Suiza, donde la gestión de los residuos radiactivos y la administración de su financiamiento, está a cargo de un órgano mixto denominado *"Cooperativa Nacional para la Eliminación de Residuos Radiactivos"* (NAGRA). Este modelo representa un esfuerzo del sector público, Confederación Suiza, representada por el Departamento de Asuntos Interiores, y del sector privado, generadores núcleo-eléctricos, por realizar esta actividad en forma conjunta.[736] Cabe resaltar al respecto que este sistema es coherente con el sistema político suizo construido sobre la base de una confederación y por ende del consenso permanente.

De esta manera, es posible afirmar que en general, tanto la gestión de los residuos radiactivos, como la administración de su financiamiento se realizan en el contexto de una estrecha colaboración público-privada, en que el Estado mantiene un rol de vigilancia, en miras a asegurar el financiamiento de los costos reales de la gestión de los residuos radiactivos y/o del desmantelamiento de instalaciones nucleares.

4.1.2.2. Derecho Chileno

En Chile, la gestión de los residuos radiactivos y la administración de su financiamiento están privilegiadamente en manos de un mismo órgano de carácter público, la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). La pregunta que surge entonces, es si este modelo debiera cambiar en el caso de implementarse la núcleo-electricidad en el país.

Al respecto se puede mencionar que en la mayor parte de los modelos analizados en derecho comparado, la generación de energía nuclear se desarrolló en sus inicios en un esquema principalmente público. Sólo posteriormente los privados participaron en las distintas etapas del ciclo de vida de esta actividad, incluidas la gestión y administración del financiamiento de la gestión de los residuos radiactivos.

---

[734] OECD. *Radioactive Waste Management and Decommissioning in Finland.* Report, 2009 p. 1.
[735] Artículo 20 de la Ley de Planeamiento 2006/739.
[736] OECD. *Nuclear Legislation in OECD Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*. Switzerland. 2003.

En esta perspectiva es posible pensar que la administración del financiamiento de la gestión debe ser de responsabilidad del Estado, sobre todo en un marco institucional que entrega la gestión de los residuos a una entidad pública. Para esto se debe tener presente que una administración eficiente es indispensable en esta materia, pues es una manera de disminuir los riesgos de una gestión segura de este tipo de residuos. La mayor eficiencia puede conseguirse también externalizando esta función a privados, siempre y cuando la autoridad respectiva sea la responsable de resguardar, que el financiamiento cubra los costos reales.

En lo que se refiere a la normativa en actual discusión parlamentaria, se puede decir que se respeta el esquema de una estructura orgánica responsable de la gestión de residuos radiactivos eminentemente pública. Lo anterior es aplicable tanto para el proyecto de ley sobre energía nuclear,[737] como para el que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras.[738] En este último caso, el proyecto se condice más bien al ámbito minero, pero eventualmente podría utilizarse como modelo para la elaboración de normativa nuclear a propósito del desmantelamiento.

4.1.3 Relación entre el órgano que administra los fondos destinados a la gestión de residuos radiactivos y/o el desmantelamiento y el órgano regulador: ¿El órgano que administra los fondos es el órgano regulador de la energía nuclear u otro distinto?

4.1.3.1. Derecho Comparado

Es posible afirmar que de manera general los Estados no asignan necesariamente al órgano regulador nuclear la función de administrar los fondos destinados a la gestión de los residuos radiactivos y al desmantelamiento de plantas nucleares. Por el contrario el derecho comparado ha privilegiado distribuir estas funciones entre varios organismos, principalmente por una decisión gubernamental que asigna las competencias a diversos órganos. Para esto se entrega a un Ministerio como es el caso de Finlandia[739] o se obliga a las empresas nucleares a formar una entidad privada distinta, cuyo objeto sea recaudar y administrar los recursos económicos adecuados para la futura gestión de residuos, como es la situación de Canadá.[740]

[737] Boletín Nº 5966-08.
[738] Boletín Nº6415-08.
[739] OECD. *Radioactive Waste Management and Decommissioning in Finland*. Report, 2009 p. 1.
[740] OECD. *Radioactive waste management and decommissioning in Canada*. March 2008. p. 6.

4.1.3.2. Derecho Chileno

Actualmente en Chile es la Comisión Chilena de Energía Nuclear el órgano regulador, la cual se ocupa además de la gestión de los desechos radiactivos generados en nuestro país.

Según el Decreto Supremo Nº 148 del Ministerio de Salud, en las instalaciones no nucleares, el órgano que regula es el Ministerio de Salud. Este fija las condiciones sanitarias adecuadas para llevar a cabo todo el proceso de manejo de radioisótopos, siendo los generadores quienes deben solventar los costos asociados al manejo de los residuos que se produzcan debido a sus actividades que impliquen el uso de materiales atómicos, según se desprende de la normativa en cuestión.

Así y según el artículo 2 del Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos "Corresponderá a la Autoridad Sanitaria fiscalizar y controlar el cumplimiento de las disposiciones del presente reglamento y del Código Sanitario en estas materias, todo ello de acuerdo con las normas e instrucciones generales que imparta el Ministerio de Salud".

Según el proyecto de ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras,[741] las funciones de regulación y administración del fondo se concentran en un mismo órgano, el SERNAGEOMIN.

El actual marco institucional relacionado con la regulación, la gestión de desechos nucleares y su financiamiento presenta un nivel de concentración que va en contra de la legislación internacional[742] y de la experiencia comparada[743]. Por esta razón es necesario que en caso de incorporar la energía nuclear a nuestra matriz energética, se prevea un rediseño de la actual institucionalidad nuclear a objeto de responder a los estándares internacionales enunciados.

[741] Boletín Nº 6415. Mensaje de S.E. el Presidente de la República con el que se inicia un proyecto de ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras, enero, 2009.
[742] Así se establece en el artículo 20.2 de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, cuando dispone que "cada parte Contratante, de conformidad con su marco legislativo y reglamentario, adoptará las medidas adecuadas para asegurar una independencia efectiva entre las funciones reglamentarias y otras funciones cuando incumba a entidades que intervengan tanto en la gestión del combustible gastado o de desechos radiactivos como en su reglamentación".
[743] Como ocurre, por ejemplo, con Finlandia, Francia y Bélgica.

4.2. Definición legal del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos durante todo el ciclo de vida, incluido el desmantelamiento.

4.2.1 Sujeto obligado de financiar la gestión de residuos radiactivos: ¿Quién asume el costo del financiamiento?

4.2.1.1. Derecho Comparado

La regla general en materia de financiamiento de los residuos radiactivos es el reconocimiento e implementación del principio de Derecho Ambiental Internacional del "que contamina paga", esto significa que el generador de los residuos es el responsable de asumir los costos de su gestión y/o desmantelamiento de la instalación nuclear. La excepción a este principio es la existencia de subsidios estatales destinados a cubrir dichos costos. Algunos modelos establecen también la obligación de constituir seguros y/o garantías que se utilizan como complemento de la regla general.

- Regla general: Aplicación del principio "el que contamina paga".

En atención a la implementación del principio del que contamina paga, se hace absolutamente necesario determinar quiénes son los generadores de los residuos, y en tal sentido la conclusión es unívoca: deberán pagar la gestión de sus propios residuos los propietarios de las plantas nucleares que los producen.

- Excepción: Subsidios.

En los casos de Estados Unidos y el Reino Unido se prevén subsidios estatales directos especialmente para la etapa de desmantelamiento, rompiendo así con la regla general del principio del que contamina paga, en un contexto en que la propiedad de las centrales es mayoritariamente privada.[744] / [745] La intervención del Estado en el financiamiento de la gestión de desechos radiactivos y/o desmantelamiento de instalaciones comerciales de potencia, es considerado por la literatura como una traba a la libre competencia en el sector de la producción de energía a nivel nacional o internacional y en este sentido, se desaconseja su utilización.[746]

[744] STUK, *Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional. Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia,* 2009, p. 44.
[745] Energy Act 2004. Section 31: Establishment and maintenance of the Account.
[746] OCDE/NEA, *Financement du démantèlement, éthique, mise en œuvre, incertitude*, 2007, p. 36.

- Seguros o garantías en complemento de los fondos generales.

Varios sistemas del derecho comparado prevén también un sistema de seguros o garantías que respalden la diferencia que pueda existir entre el fondo conformado con los criterios de estimación de costos determinados por cada país y los costos reales de la gestión de desechos radiactivos. En ciertos modelos, como el de Estados Unidos o Canadá, optan por financiar el desmantelamiento con sistemas de garantías, dinero efectivo, letras de cambio, seguros privados o estatales.

La ley sobre residuos nucleares de Estados Unidos, Nuclear *Waste Policy Act* de 1982, establece que es el gobierno Federal, a través del Departamento de Energía, el encargado de disponer de los desechos de alto nivel radiactivo como del combustible nuclear utilizado. Para esto proporciona una locación determinada donde se establezca un depósito de dichas sustancias, instalación operada por contratistas del Departamento de Energía. Sin perjuicio de lo anterior, los costos de disposición de dichos residuos corresponden a los generadores y dueños de tales desechos. Para tales efectos el Secretario de Energía celebra contratos con los generadores y dueños de los desechos ya señalados mediante los cuales se acuerda el pago de un honorario basado en la cantidad de desechos nucleares generados.

Asimismo, esta Ley crea el Fondo de Desecho Nuclear, compuesto, entre otros, por los honorarios cobrados en razón de los contratos celebrados de acuerdo a lo ya señalado. Este fondo tiene como finalidad el financiar todos los costos relativos a la construcción, operación, desmantelamiento, de los depósitos construidos bajo el alero del *Nuclear Waste Policy Act.*

En cuanto al desmantelamiento, en EEUU se establece como requisito de otorgamiento de las distintas licencias para la instalación de una planta nuclear, demostrar que los explotadores de la instalación estarán en condiciones financieras de llevar a cabo todo el proceso de desmantelamiento de las plantas al momento del cierre de las mismas. En esta óptica se les exige probar que contarán con los recursos suficientes al momento del desmantelamiento. Para tales efectos, se deben otorgar garantías financieras, tales como el prepago de los costos estimados de desmantelamiento, mantención de un fondo externo para tales efectos, o bien cualquier método de garantía o fianza, dentro de los cuales podría encontrarse la contratación de un seguro que garantice la disponibilidad de los fondos al momento del cierre de la planta. Por ende, se trata de asegurar que los fondos necesarios para hacer frente a los costos de desmantelamiento estarán disponibles al momento en que se necesiten.

4.2.1.2. Derecho Chileno

La Ley de Seguridad Nuclear,[747] siguiendo el principio del "que contamina paga", prescribe en su artículo 9 que "*Será responsabilidad del explotador proveer los medios necesarios para el tratamiento y almacenamiento definitivo de los desechos radiactivos*". De esta manera, se impone una obligación legal al que genera los residuos, que consiste en cubrir económicamente todas las actividades relacionadas con la gestión de los mismos. En la práctica, el operador entrega los desechos a La CCHEN a cambio de un pago único equivalente a los valores establecidos por esta entidad para la realización de este servicio, en función del volumen, características y otros criterios establecidos[748].

En lo que concierne a la responsabilidad por el manejo de los residuos radiactivos, se establece en el mismo cuerpo legal, en su artículo 32 inciso segundo que *"Será responsabilidad de la Comisión Chilena de Energía Nuclear la mantención y protección de los depósitos de almacenamiento permanente de desechos nucleares o radiactivos de larga vida. En los demás casos, los depósitos de desechos radiactivos serán de responsabilidad de la persona que los tenga a su cargo".* Tal normativa es coherente con lo anteriormente expuesto, en el sentido que la cobertura financiera de la gestión de residuos radiactivos es de cargo del generador de los desechos, mientras que la gestión de los mismos corresponde de manera privilegiada a la CCHEN. Sin embargo cabe resaltar que el generador del residuo realiza un sólo pago y que al momento de la entrega su responsabilidad se agota, pasando a manos de La CCHEN. En este contexto, el Estado termina asumiendo los costos ulteriores que eventualmente no se lograron cubrir con ese pago único. A lo anterior se suma un problema cultural, pues los operadores entienden que el servicio prestado por SEGEDRA es de tipo público y que por lo tanto, el financiamiento de la gestión no es necesariamente su responsabilidad[749].

El Proyecto de Ley sobre energía nuclear[750] nada dice respecto del sujeto obligado a financiar los costos de la gestión de residuos peligrosos ni del desmantelamiento. Lo anterior iría en contra del espíritu de las legislaciones estudiadas en el derecho comparado, en el capítulo precedente, que establecían de manera explícita la necesidad de aplicar el principio del que contamina paga, cargando al generador de los residuos el costo de estas actividades.

---

747 Ley Nº 16.319.
748 Entrevista efectuada a Azucena Sanhueza, CCHEN realizada el 21 de enero de 2010.
749 *Ibidem*.
750 Boletín N°5966-08.

Según el proyecto de ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras,[751] el que asume el costo del cierre son las empresas mineras. Esta figura podría asimilarse a la que debiera existir en la normativa en materia de desmantelamiento de la planta nuclear, en cuyo caso el explotador de la planta debe asumir el costo de la operación.

4.2.2. Entidad responsable de definir el aporte: ¿Quién define el monto del aporte?

4.2.2.1. Derecho Comparado

Es importante identificar a quién le cabe la responsabilidad de definir el monto del aporte destinado a costear la gestión de los residuos radiactivos y/o el desmantelamiento de las instalaciones nucleares, sobretodo si se considera que contar con el financiamiento necesario para la realización de estas tareas es esencial para que el desarrollo de la energía nuclear sea una opción respetada y legítima[752].

Los Estados han optado por diferentes modelos que entregan esta misión a un ente público o privado, pero siempre controlado por un organismo público. En la perspectiva de asegurar que el financiamiento cubra los costos reales de la gestión de residuos radiactivos y/o el desmantelamiento de la planta, ciertos países como Finlandia o Bélgica, han prescrito la obligación de constituir garantías para cubrir las diferencias que puedan existir entre los fondos y los costos reales. Suiza por su parte, decidió crear un fondo solidario de los productores cubierto por depósitos complementarios, en tanto Estados Unidos exige que en los casos de un reactor clásico de agua bajo presión, éste disponga a lo menos de 164 millones de dólares para el desmantelamiento de tal reactor[753].

- Organismos privados que definen el monto del aporte.

Ciertos modelos como el canadiense, entregan a una entidad privada, creada por las empresas del sector núcleo-eléctrico, *Nuclear Waste Management Organization* la administración del financiamiento y la de determinar el monto adecuado para cubrir los requerimientos a futuro en la gestión de residuos radiactivos.

La definición de los costos por parte de privados conlleva el riesgo de una subestimación de los mismos si se considera que la organización que realiza el cálculo

[751] Boletín Nº 6415-08. (artículos 61 y 62).
[752] Cour de Comptes, *Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs. Rapport au Président de la République suivi des réponses des administrations et des organismes intéressés*, janvier 2005, p. 201.
[753] OCDE/AEN, *Déclassement et démantèlement d'installation nucléaires. Etat des lieux, démarche, défis.* OCDE, 2002, p. 55.

financiero ha sido creada por los operadores, en consecuencia, por los responsables de asumir el costo final que están definiendo. En miras a evitar un conflicto de intereses y a garantizar una estimación que garantice la cobertura de los costos reales, este país prevé una fórmula de cálculo, establecida en *Nuclear Fuel Waste Act,* la cual una vez aplicada, debe ser aprobada por un organismo público, el Ministerio de Recursos Naturales[754].

- Organismos públicos que definen el monto del aporte.

En el caso de Estados Unidos es la *Office of Civilian Radioactive Waste Management*, dependiente del Departamento de Energía, la que establece los factores a tomar en consideración para calcular los requerimientos financieros en la tasa que se cobra a los generadores de residuos por el manejo de los desechos nucleares[755] de alto nivel[756].

En Brasil, quién determina el monto del aporte que deben realizar los generadores de desechos, es la *Comisión Nacional de Energía Nuclear*, el órgano regulador de esta materia en el país, el que se encuentra subordinado al Ministerio de Ciencia y Tecnología.[757]

4.2.2.2. Derecho Chileno

Actualmente La CCHEN es la encargada de establecer los montos pertinentes a cobrar por la realización de los servicios de manejo de residuos de nivel de radioactividad bajo e intermedio[758]. Lo anterior lo realiza tomando en cuenta las propiedades de los desechos que son determinados previamente por una entidad consultora externa contratada por el generador.

La ley que crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear, prescribe en su artículo 3 letra b) que este organismo *"Elabora y propone al Supremo Gobierno los planes nacionales para la investigación, desarrollo, utilización y control de la energía nuclear en todos sus*

754 OCDE, *Radioactive waste management and decommissioning in Canada.* OCDE, 2008.
755 En lo que respecta a los residuos de bajo nivel, son los generadores de éstos quiénes deben cubrir económicamente el manejo de los desechos. En OECD. Radioactive waste management and decommissioning in the United States of America. Report 2007, p. 18.
756 OCDE, *Radioactive waste management programs in OECD/NEA member countries*. United States, p. 10.
757 La Ley Nº 4118 de 1962, que crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear.
758 En Chile no se tratan los desechos de alto nivel, por no contar con la infraestructura adecuada para materializarla y menos aún con centrales de potencia nuclear. Es por esta razón que sobre el territorio se realiza un breve período de enfriamiento de los desechos para luego ser enviados a Estados Unidos, con el objetivo de su eliminación final. Mariangel, Lorena. Ingeniera Comisión Chilena Energía Nuclear. Entrevista realizada en CCHEN el 15 de diciembre de 2009.

aspectos" y en la letra c) de la misma norma expresa que la CCHEN debe "*Ejecutar, por sí o de acuerdo a otras personas o entidades, los planes a que se refiere la letra b)".*

En este contexto, es posible deducir que este órgano, en virtud de sus amplias competencias en el área de la energía nuclear, tendría la potestad de establecer los requerimientos económicos necesarios de la gestión de desechos radiactivos y servicios asociados al manejo de residuos de bajo nivel o nivel intermedio de radiactividad.

En la práctica La CCHEN determina los valores de la gestión de los desechos según criterios que ella misma ha establecido[759].

El Decreto Nº 148 del Ministerio de Salud, que establece el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos, prescribe que en el caso de las instalaciones que son fiscalizadas por la Autoridad Sanitaria, el concepto de aporte debe ser sustituido por el de cobertura de costos, ya que es el generador que debe solventar financieramente el tratamiento, almacenamiento y eliminación de tales desechos, cuando éstos sean producidos en lugares que no quedan bajo el control de la CCHEN (Art. 52 y ss.).

Con todo, es el generador que debe incluir en el Plan de Manejo todas las condicionantes técnicas y económicas que deben ser observadas para cumplir a cabalidad con lo propuesto en el Proyecto de Gestión. Así y en concordancia con el artículo 25 inciso tercero del Decreto Supremo Nº 148 *"El Plan deberá ser diseñado por un profesional e incluirá todos los procedimientos técnicos y administrativos necesarios para lograr que el manejo interno y la eliminación de los residuos se haga con el menor riesgo posible".* Este sistema de resguardar financieramente la cobertura de la gestión de residuos, posee cierta similitud con el modelo canadiense, debido a que es el generador quién elabora el Plan de Manejo de Desechos siguiendo las directrices establecidas en el marco legal, para luego someterlo a la aprobación de la autoridad pública.

Por lo mismo, se cuenta en estos modelos con un control público que limita la discrecionalidad de la empresa y/o generador, pues existe una evaluación de la autoridad respecto de los costos a cubrir, según lo definido por el explotador, a través de fórmulas de financiamiento.

En el caso del Proyecto de Ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras,[760] el monto lo define el SERNAGEOMIN conforme los parámetros establecidos en los artículos 61 y 62 del mencionado texto.

[759] Entrevista realizada a jefe de SEGEDRA, de la CCHEN, el 21 de enero de 2010.
[760] Boletín N° 6415-08¸ Enero de 2009.

4.2.3 Consagración de la obligación de realizar el aporte: ¿Dónde se establece la obligación de realizar el aporte?

4.2.3.1. Derecho Comparado

De manera general es posible advertir que la obligación del pago de los generadores de residuos radiactivos se establece en la ley, tal como sucede en Estados Unidos, pero también hay casos en que se define en un plan de gestión[761].

En Sudamérica, el financiamiento del manejo de los desechos radiactivos se estructura en general, en base a un Plan Nacional, prescrito en una ley específica referida a los residuos nucleares. En Argentina por ejemplo, la Ley Nº 25.018 que establece el "*Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos*", en su artículo 13 letra j) señala que corresponde al Programa Nacional *"Gestionar los residuos provenientes de la actividad nuclear estatal o privada incluyendo los generados en la clausura de las instalaciones, los derivados de la minería del uranio, y los que provengan de yacimientos mineros abandonados o establecimientos fabriles fuera de servicio"*.

4.2.3.2. Derecho Chileno

La Ley no establece la obligación de constituir un aporte de manera clara y explícita, si no que ésta se infiere de la responsabilidad que posee el generador respecto de la producción de desechos nucleares y su posterior gestión en la CCHEN, conforme lo establecido por la Ley de Seguridad Nuclear[762].

El proyecto de Ley de Energía Nuclear[763] (moción parlamentaria) avanza en este sentido, estableciendo la necesidad de contar con un Plan Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, definido cada 4 años.[764] Los artículos 10[765] y 11[766] de este

[761] OECD, *Nuclear Legislation in OECD Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities.* Canadá: OECD, 2009, p. 15.
[762] Artículo 9 inciso segundo Ley Nº 18.302 de Seguridad Nuclear: "*Será responsabilidad del explotador proveer los medios necesarios para el tratamiento y almacenamiento definitivo de los desechos radiactivos »*
[763] Boletín N°5966-08
[764] Artículo 12. El Plan Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, se elaborará cada 4 años, y deberá ocuparse propender a lo siguiente: a) A la coordinación de esfuerzos para minimizar la generación de residuos y su volumen, así como la optimización de la ocupación del volumen disponible; b) A la gestión de residuos de alta actividad en una instalación complementaria, específicamente diseñada para esta categoría de residuos.
[765] Artículo 10. Se denomina Plan Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos al documento, en el que se establecen las políticas sobre gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y radioactivas, junto con el correspondiente estudio sobre las previsiones económicas y financieras para llevarlas a cabo.

proyecto, establecen por su parte, que será este plan, el encargado de contemplar el estudio sobre las previsiones económicas y financieras de la gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento.

El proyecto de ley que regula el cierre de las faenas e instalaciones mineras, avanza notablemente en esta materia al prescribir en su texto la obligación de la realizar un aporte al financiamiento del cierre de la faena minera (artículos 61[767] y 62[768]).

4.2.4 Métodos de cálculo del aporte: ¿Cómo se calcula el aporte?

4.2.4.1. Derecho Comparado

El cálculo del aporte se puede efectuar sobre la base de distintos criterios. En general sobre la estimación de costos futuros o energía generada. A su vez, en el primer caso, el cálculo se realiza sobre la base de distintas variables que definen la proyección económica necesaria para cubrir la gestión de desechos y/o el desmantelamiento de la planta nuclear.

4.2.4.1.1. Costos futuros

En el caso de Finlandia, por ejemplo, la estimación de los costos futuros se realiza tomando en cuenta el costo actual que representa la gestión de residuos existentes, la tasa de inflación y la tecnología disponible.[769] En Brasil, en tanto, el cálculo de los

---

766 Artículo 11. En el Plan señalado en el artículo anterior deben recogerse en forma clara y concisa todas las estrategias y actuaciones a llevar a cabo en los distintos campos de la gestión de los residuos radiactivos y desmantelamiento de instalaciones.

767 Artículo 61. Creación, administración y formación del Fondo. Créase un fondo para la implementación de medidas de seguimiento y control, en adelante "el Fondo", destinado a financiar las medidas de seguimiento y control de riesgos o efectos negativos sobre las variables ambientales relevantes de las faenas mineras que han cumplido íntegramente con el plan de cierre. El Fondo será administrado por el Servicio, sin perjuicio de que éste, mediante licitación pública, pueda delegar en terceros dicha función así como la implementación de las medidas de seguimiento y control respectivas. El Fondo estará formado por los recursos proporcionados por las empresas mineras en la forma señalada en el artículo siguiente, por el producto de las multas que el Servicio curse como consecuencia del ejercicio de las facultades que la presente ley le confiere, por las donaciones o asignaciones que le hicieren, y por las erogaciones y subvenciones que obtenga de personas naturales o jurídicas, de las municipalidades o del Estado.

768 Artículo 62. Del deber de aportar al Fondo. En forma previa a la entrega del certificado de cierre final a la empresa minera, ésta deberá proporcionar al Servicio, en dinero o instrumentos financieros establecidos en el artículo 57, los recursos necesarios para financiar las medidas de seguimiento y control de riesgos o efectos negativos sobre las variables ambientales relevantes de la faena minera.
El monto de dichos recursos corresponderá al valor actualizado del costo total de las medidas establecidas, incrementado en un 10%, a fin de cautelar el íntegro financiamiento de las medidas señaladas ante eventuales imprevistos.

769 OCDE, *Radioactive waste management and decommissioning in Finland*, OCDE, 2009, report, p. 2.

costos futuros considera el volumen de residuos a ser depositado, el isótopo activo del volumen autorizado y el costo de las licencias, la construcción, operación, mantenimiento y depósito de seguridad física de las instalaciones donde se materializa la eliminación final de los desechos.[770]

En Canadá la fórmula de cálculo de los costos futuros se establece por ley y contempla las siguientes variables: (a) el coste total estimado de la gestión de los residuos de combustible nuclear, que debe tener en cuenta los fenómenos naturales o de otro tipo que tienen una probabilidad razonable de que ocurran; (b) la tasa estimada de rendimiento de los fondos fiduciarios; (c) la esperanza de vida de los reactores nucleares de cada corporación de la energía nuclear y de la *Atomic Energy of Canada Limited*, y (d) las cantidades estimadas que se reciban de los propietarios de los residuos de combustible nuclear, excepto las empresas de energía nuclear y la *Atomic Energy of Canada Limited*, a cambio de servicios de gestión de los residuos de combustible nuclear[771]. Esta fórmula de financiamiento, no incluye la etapa de desmantelamiento de la planta, sino sólo la gestión de los desechos radiactivos.[772]

4.2.4.1.2. Energía generada

Corea del Sur, define el aporte en función a la cantidad de energía generada, introduciendo un determinado valor económico por KW/h producido por las empresas de generación núcleo-eléctrica[773].

En ambos modelos el objetivo es velar por la seguridad financiera de la gestión de los residuos radiactivos y/o desmantelamiento de la planta nuclear, en su caso. Además persigue la eficiencia y flexibilidad económica acorde a las mejores prácticas que se vayan desarrollando, en miras a salvaguardar a las personas y el medioambiente de toda radiactividad.

4.2.4.2. Derecho Chileno

En Chile, el aporte a enterar por parte de los generadores de desechos a La CCHEN, ya sean instituciones hospitalarias, de investigación, actividades mineras o universidades, principales agentes generadores de desechos nucleares, se calcula en consideración a diversos aspectos, prescritos en el marco de las instrucciones internas de la CCHEN. Dichas instrucciones toman en consideración diversos criterios tales como[774]:

---

770 Capítulo VII, artículos 17-18, Ley 10.308.
771 Nuclear Fuel Waste Act. Nº 13 (1).
772 OCDE, *Radioactive waste management and decommissioning in Canada*. OCDE. 2008, p. 28.
773 OCDE, *Radioactive waste management in Republic of Korea*. OCDE. 2009.
774 Entrevista en la Comisión Chilena de Energía Nuclear, el 15 de Diciembre de 2009.

- Caracterización físico-química
- Los isótopos y la actividad de éstos.
- Volumen.
- HH requeridas para la gestión de los residuos.
- Materiales y período de almacenamiento.

Como se ha enunciado en varias oportunidades la opción nuclear requiere que la cuestión del financiamiento de los desechos radiactivos esté resuelta. De lo contrario difícilmente se puede conseguir un consenso en torno a esta alternativa energética, sobretodo, por los graves riesgos implícitos que conllevarían un mal manejo y tratamiento de tales residuos, para la salud y el medio ambiente.

Es por lo anterior que en todos los casos estudiados en derecho comparado, se advierte una preocupación no sólo por definir de manera explícita en la ley, quiénes son los responsables de asumir los costos de la gestión de tales desechos y desmantelamiento, en su caso, sino también por definir una fórmula que sirva a determinar los costos de la misma, de la manera más certera posible.

En este sentido, parece que las instrucciones elaboradas por la CCHEN no serian suficientes en un escenario en el que proceda la implementación de la núcleo-electricidad en nuestro país y que la manera de superar el vacío sería estableciendo la fórmula de cálculo en la ley o bien en un Plan de Gestión Nacional de residuos radiactivos, prescrito por la ley.

En ambos casos se lograría que el proceso de definición del financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento fuera conocido y por ende respondiera a estándares de transparencia mínimos que deben existir en la materia.

La reglamentación referida a los residuos peligrosos, contempla ciertas definiciones respecto a la elaboración de un plan de gestión, pero en este caso elaborado por el operador y aplicable a si mismo[775]. Así y según el artículo 26 del Decreto Supremo Nº 148, que contiene el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos:

> "*El Plan de Manejo de Residuos Peligrosos deberá privilegiar opciones de sustitución en la fuente, minimización y reciclaje cuyo objetivo sea reducir la peligrosidad, cantidad y/o volumen de residuos que van a disposición final y deberá contemplar al menos los siguientes aspectos:*

[775] Decreto Supremo Nº 148 del Ministerio de Salud.

a) Descripción de las actividades que se desarrollan en el proceso productivo, sus flujos de materiales e identificación de los puntos en que se generan residuos peligrosos.
b) Identificación de las características de peligrosidad de los residuos generados y estimación de la cantidad anual de cada uno de ellos.
c) Análisis de alternativas de minimización de la generación de residuos peligrosos y justificación de la medida seleccionada.
d) Detalle de los procedimientos internos para recoger, transportar, embalar, etiquetar y almacenar los residuos.
e) Definición del perfil del profesional o técnico responsable de la ejecución del Plan, así como, del personal encargado de operarlo.
f) Definición de los equipos, rutas y señalizaciones que deberán emplearse para el manejo interno de los residuos peligrosos.
g) Hojas de Seguridad para el Transporte de Residuos Peligrosos para los diferentes tipos de residuos peligrosos generados en la instalación.
h) Capacitación que deberán recibir las personas que laboran en las instalaciones, establecimientos o actividades donde se manejan residuos peligrosos.
i) Plan de Contingencias.
j) Identificación de los procesos de eliminación a los que serán sometidos los residuos peligrosos, explicitando los flujos y procesos de reciclaje y/o reuso.
k) Sistema de registro de los residuos peligrosos generados por la instalación o actividad y en donde al menos se consigne: cantidad en peso y/o volumen e identificación de las características de peligrosidad de los residuos peligrosos generados diariamente, cantidad en peso y/o volumen e identificación de la características de peligrosidad de los residuos peligrosos que ingresen o egresen del sitio de almacenamiento, cantidad en peso y/o volumen e identificación de la características de peligrosidad de los residuos peligrosos reusados y/o reciclados y los procesos correspondientes, cantidad en peso y/o volumen e identificación de la características de peligrosidad de los residuos peligrosos enviados a terceros para su eliminación".

Es necesario señalar que dichas exigencias técnicas influyen en las consideraciones de costos de los productores de desechos.

Por lo tanto, con anterioridad a los servicios prestados por la Comisión en el manejo final de los residuos y que se guían por los criterios expuestos para las instalaciones nucleares, los generadores deben cubrir económicamente el manejo de los desechos tomando en cuenta todas las variables que han sido expuestas y que deben

necesariamente estar inmersas en el Plan de Manejo exigido por la Autoridad Sanitaria.

El proyecto de Ley de Energía Nuclear, en su art. 10[776] prescribe la existencia de un Plan Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, el cual debe contemplar un estudio económico y financiero de la gestión de residuos radiactivos y el desmantelamiento, pero no prevé una formula de cálculo del financiamiento.

En el caso del Proyecto de ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras[777] se prevé que en forma previa a la entrega del certificado de cierre final a la empresa minera, ésta deberá proporcionar al Servicio, en dinero o instrumentos financieros establecidos en el artículo 57,[778] los recursos necesarios para financiar las medidas de seguimiento y control de riesgos o efectos negativos sobre las variables ambientales relevantes de la faena minera (art.62). El monto del aporte se define según una fórmula establecida en el mismo proyecto de ley, equivalente al valor actualizado del costo total de las medidas establecidas, incrementado en un 10%, a fin de cautelar el íntegro financiamiento de las medidas señaladas ante eventuales imprevistos.

4.2.5 Destino del aporte: ¿gestión y/o desmantelamiento?

4.2.5.1. Derecho Comparado

En todos los casos analizados los aportes forman fondos, los que pueden destinarse sólo a la gestión o al desmantelamiento, o bien a todo el proceso.

4.2.5.1.1. Fondo Global

El fondo global prevé el financiamiento de los costos relativos a la gestión de los residuos nucleares y el desmantelamiento de la planta. En general están administrados por órganos públicos, como sucede, a modo de ejemplo, en Corea del

[776] Se denomina Plan Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos al documento, en el que se establecen las políticas sobre gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y radiactivas, junto con el correspondiente estudio sobre las previsiones económicas y financieras para llevarlas a cabo.
[777] Mensaje Nº 1418-356.
[778] Le corresponderá a la empresa minera determinar la o las formas en que constituirá la garantía, pudiendo elegir entre las siguientes, sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo 59: a) Efectivo; b) Boleta bancaria de garantía; c) Instrumentos Financieros representativos de captaciones o de deuda comprendidos entre las letras a) y e) del artículo 45 del D.L. N° 3.500, de 13 de noviembre de 1980, tales como: - Letras de crédito emitidas por instituciones financieras y avaladas conforme a lo que establezca el reglamento; - Títulos garantizados por instituciones financieras; - Depósitos a plazo, bonos, y otros títulos representativos de captaciones, emitidos por instituciones financieras; - Títulos emitidos por la Tesorería General de la República o por el Banco Central de Chile, y otros títulos emitidos o garantizados por el Estado de Chile. - Bonos de empresas públicas o privadas, entre otros.

Sur (fondo global administrado por un comité para el manejo de residuos nucleares dependiente del Ministerio de Comercio, Industria y Energía), en Argentina (fondo global, administrado por la Comisión Nacional de Energía Atómica), en República Checa (fondo global administrado por RAWRA), en España (fondo global administrado por ENRESA).

4.2.5.1.2. Fondos parciales

Los fondos parciales están destinados a financiar la gestión de residuos nucleares o el desmantelamiento, pero en ningún caso ambos. En el caso particular de Estados Unidos se advierte la existencia de dos fondos, el primero de carácter nacional destinado al financiamiento de desechos de Alto Nivel, conformado por los aportes de los generadores sobre una tasa fijada por la autoridad y el aporte directo estatal, administrado por la *Office of Civilian Radioactive Waste Management*, dependiente del Ministerio de Energía. El segundo, se trata de un fondo de financiamiento de desechos de Bajo Nivel, formado por un aporte de los generadores calculado conforme a la estimación de costos y administrado conforme lo disponga cada Estado Federal[779].

En materia de desmantelamiento, este país al igual que Canadá, aseguran el financiamiento de los costos con garantías o seguros. En Canadá, la entrega de garantías, pueden consistir en dinero efectivo, letras de créditos, seguros privados o estatales, en el caso que sea una empresa federal o provincial de generación núcleo-eléctrica. Las garantías debe cubrir el plan de decomisionamiento que haya establecido la propia empresa para su concreción y que debe ser aprobado por la CNSC (*Canadian Nuclear Safety Comisión*),[780] el cual es el ente regulador en materia nuclear para el Estado canadiense.

En Estados Unidos, en tanto, el desmantelamiento se financia con garantías aportadas por las empresas de núcleo-electricidad y que se deben mantener en fondos separados dentro de las compañías, para destinarlas a cubrir los costos de esta actividad.[781] Dichas garantías son exigidas, en lo relativo a los montos, en consideración a la cantidad de residuos radiactivos producidos por los generadores.

779 OCDE. *Radioactive waste management and decommissioning in the United States of America*. 2007 Report, p.18.
780 *Ibidem*, p. 28-29.
781 OCDE, *Radioactive waste management and decommissioning in the United Status of America*. OECD, 2009, p. 21.

4.2.5.1.3. Casos especiales

También se observan casos curiosos, que siguen en parte la regla general de conformación de fondos, pero con alguna singularidad, como es el caso belga, en que se contempla un fondo global administrado por una empresa privada llamada Synatom, pero que en cuyo consejo administrativo participan dos representantes del Estado. También cuentan con un "Fondo de Insolvencia". Este último también es administrado por Synatom y su finalidad es financiar la gestión de desechos radiactivos en los casos excepcionales de quiebra de la central nuclear[782].

Otra figura especial, es la creada por el Reino Unido, la cual consiste en una cuenta de financiamiento destinada al desmantelamiento nuclear, administrado por el Secretario de Estado, el cual coexiste con el Fondo Nacional administrado por la Oficina de Desmantelamiento Nuclear, *Nuclear Decommissioning Autority* (NDA).

Finalmente, otro caso singular es el alemán, en que aún cuando la determinación de los fondos, como su administración está a cargo del generador privado (supervisado por autoridades fiscales), se contempla también un Fondo para la creación de un repositorio, administrado por la Oficina Federal para la Protección de la Radiación (BfS)[783].

4.2.5.2. Derecho Chileno

El presupuesto con el que cuenta la CCHEN para desarrollar todas sus actividades y funciones encomendadas por la ley, proviene directamente del erario nacional y de ciertos ingresos especificados en la misma normativa,[784] dentro de los cuales se encuentra los valores a cancelar por los servicios prestados por parte de la Comisión a todos quiénes soliciten ocupar parte de sus instalaciones para gestionar los desechos radiactivos.

Por lo mismo, la gestión de los residuos nucleares se centra principalmente en su tratamiento, acondicionamiento y eliminación final en lo que se refiere a los desechos de bajo e intermedio nivel de radiactividad, ya que la pequeña porción de residuos de alto nivel que se producen en el país son enviados para su etapa final a los Estados Unidos, previo tratamiento de enfriamiento realizado en Chile.

---

782 OECD. "Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries". *Bélgica*, 2005.
783 OECD. "Radioactive Waste Management Programs in OECD/NEA Member Countries". *Alemania*, 2005.
784 Artículo 4. Ley Nº 16.319 que crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

De esta manera, la Comisión Chilena de Energía Nuclear centraliza la gestión de los residuos radiactivos que se producen en el país en sus diversas aplicaciones.

No obstante, al no existir centrales nucleares de potencia, no existe dentro de la normativa nacional una regulación propia para el combustible gastado y su pertinente gestión de residuos, ni menos aún un marco legal diferenciado para el desmantelamiento de plantas atómicas.

El Proyecto de Ley de Energía Nuclear,[785] no realiza avances significativos en la materia, sin embargo, destaca el hecho de referirse no solamente al financiamiento de la gestión de desechos, sino que también al desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

4.3. Incorporación de los costos de la gestión de los residuos radiactivos y el desmantelamiento de las plantas radiactivas en la tarifa eléctrica.

En gran parte de las extranjeras analizadas en el Informe n°1 el costo de la gestión de los residuos radiactivos y el desmantelamiento de las plantas nucleares se incorpora a la tarifa eléctrica. El marco regulatorio nacional presentaría ciertas dificultades para seguir un modelo, tal como se expone a continuación.

En efecto, en Chile existen cuatro sistemas eléctricos, el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), el Sistema Interconectado Central (SIC), y los sistemas medianos de Aysén y Magallanes.

A su vez, en cada sistema eléctrico, particularmente en el SING y en el SIC, se distinguen las actividades de generación, transmisión y distribución, todas las cuales son objeto de regulación en la Ley General de Servicios Eléctricos ("LGSE") y su reglamentación complementaria, siendo una de las materias de regulación el precio de los servicios que se prestan en cada uno de estos segmentos.

Así, la autoridad fija el precio del servicio de transporte de energía eléctrica a través de sistemas de transmisión troncal y de subtransmisión y el precio del servicio de distribución de energía eléctrica.

En los casos de fijación de precios de los sistemas de transmisión y en los servicios públicos de distribución, ello se justifica, entre otros motivos, por el hecho que tales actividades constituyen monopolios naturales, esto es, presentan economías de escala y, por lo tanto, no resulta atractivo permitir competencia, sino sólo en lo referente a la construcción de las respectivas instalaciones.

[785] Boletín N° 5966-08.

En ambos casos sus tarifas se determinan como una función de los costos de capital y de operación de sus instalaciones, mediante negociaciones entre propietarios y autoridad, bastante regladas y con la participación de entidades especializadas.

Para el segmento de generación, en cambio, no existe una situación de monopolio natural, sino que múltiples empresas de generación, en un mercado competitivo, por lo que la lógica de determinación de los precios en materia de generación difiere de los otros segmentos.

Así, en el caso de las ventas a clientes regulados, existen dos formas de determinar sus precios. La manera "antigua" lo constituye la fijación de precios de nudo, lo que realiza la Comisión Nacional de Energía cada 6 meses. Sucintamente, podemos señalar que la fijación de precios de nudo responde a la proyección de los costos marginales esperados para un período determinado, "sujetando" tales costos marginales esperados a la banda de precios libres. En tal sentido, los precios de nudo reflejan el costo de desarrollo del sistema eléctrico, pero no remuneran necesariamente los costos efectivos de los generadores.

La nueva manera de determinar los precios a cobrar a clientes regulados, o por el suministro que se entregará a empresas distribuidoras, para que éstas lo entreguen a clientes finales regulados, es mediante licitaciones competitivas de largo plazo, en procesos regulados.

Actualmente, y con efectos a partir del año 2010 en adelante, gran parte de los suministros convenidos con empresas de servicio público de distribución provienen de licitaciones de largo plazo, por lo que el precio de nudo ("precio de nudo de corto plazo"), que se fija cada 6 meses tenderá a perder importancia.

Por su parte, en el caso del suministro destinado a clientes no regulados (de una potencia conectada superior a 2 MW), se pueden pactar precios libres, según se dispone en el artículo 149 de la LGSE.

Ahora bien, adicionalmente, las empresas generadoras también participan en el mercado spot de energía y potencia, producto de la interconexión de las instalaciones.

En efecto, tanto el SING como el SIC funcionan como sistemas interconectados, cuyos sistema de transmisión troncal se constituyen en una "columna vertebral", hacia la cual las empresas de generación "inyectan" la energía y potencia que producen sus centrales (lo que se valoriza a los costos marginales horarios), y desde la cual las empresas de generación que tengan clientes (pueden no tenerlos) "retiran" la energía

y potencia que necesiten para cumplir con sus compromisos de suministro que tuvieren contratados, ya sea con empresas de distribución o con clientes libres.

Para dicho efecto, el CDEC respectivo determina, con independencia de la propiedad de las centrales generadoras y sólo basado en criterios económicos y de seguridad, cuáles centrales operarán en cada instante (determina quién "inyecta" al sistema), en cumplimiento del mandato legal que le entrega el artículo 137 de la LGSE, manteniendo en funcionamiento durante mayor número de horas aquellas centrales cuyos costos variables sean menores, abasteciendo sólo durante las horas de mayor demanda desde las centrales cuyos costos variables son mayores, y eligiendo la mejor oportunidad para el uso de las aguas embalsadas. Generar hoy con agua embalsada le ahorra al sistema costos en generación térmica pero, ello podría implicar que en el futuro, en presencia de escenarios de sequía, tuviera que generar con aun mayores costos, por lo cual las decisiones del CDEC deben basarse en criterios muy objetivos y fundados de optimización de uso de los recursos.

Lo anterior constituye una expresión de los principios de la tarifación marginalista que contiene la LGSE.

En efecto, la letra f) del artículo 225 de la LGSE define costo marginal de suministro como:

> *"f) Costo marginal de suministro: el costo en que se incurre para suministrar una unidad adicional de producto para un nivel dado de producción. Alternativamente, dado un nivel de producción, es el costo que se evita al dejar de producir la última unidad."*

De esta definición aparece que el costo marginal de suministro, es el costo en que se incurre al suministrar una unidad adicional de producto, o, alternativamente, el costo que se evita al dejar de producir la última unidad de energía; lo que supone que existe un mismo valor para la unidad adicional que para la unidad que se deja de producir.

De esta forma, en la LGSE se establece que el costo marginal en que incurre el sistema eléctrico, en un instante de tiempo, para producir un cierto nivel de energía es el costo variable de la central más cara en operación.

La importancia del costo marginal radica en que el mismo sirve para determinar la valorización de las transferencias de energía, según se señala expresamente en el artículo 119 de la LGSE, el que dispone:

> *"Las transferencias de energía que resulten de la coordinación de la operación de los sistemas interconectados serán valorizadas de acuerdo a*

> *los costos marginales instantáneos de cada sistema eléctrico, los cuales serán calculados por el organismo de coordinación de la operación o CDEC que corresponda."*

Ahora bien, a partir de tales disposiciones es posible advertir que los costos marginales que se utilizan como base para valorizar las transferencias de energía presentan las siguientes características:

- Resultan de la operación real del sistema, a diferencia de los costos marginales esperados que se utilizan en la programación del sistema; y

- Provienen de la operación óptima determinada por el CDEC, de modo que costos de centrales que provienen de decisiones que no resultan de la operación óptima determinada por el CDEC no "marcan" costos marginales.

Ejemplo de lo anterior, resultan las operaciones de seguridad que se adoptan en el propio CDEC, en que se altera el despacho óptimo del sistema, pagando los mayores costos a los dueños de las centrales que deben generar, pero sin que por ello se alteren los costos marginales que resultan de la operación óptima.

Un segundo ejemplo, lo constituyen las operaciones de sustitución de energía, en que una central puede ceder el gas natural que dispone de modo que sea ocupado, por ejemplo, por una empresa distribuidora, y la energía que no se genere con dicho gas natural debe generarse en otra o la misma central, con gas natural u otro combustible, sin que ello pueda afectar los costos marginales que resultan la operación óptima del sistema.

Por otra parte, el artículo 137 de la LGSE señala que los concesionarios de cualquier naturaleza están obligados a llevar a cabo la interconexión con la finalidad de garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema eléctrico, en tanto que el artículo 149 de la misma Ley dispone que las transferencias de energía serán valorizadas de acuerdo a los costos marginales instantáneos del sistema eléctrico.

Bajo este esquema, puede ocurrir que una empresa que dispone de amplia capacidad para generar energía, en definitiva, no la produzca efectivamente, y deba adquirirla a otros integrantes del CDEC para poder cumplir los compromisos de suministro con sus clientes. Sería el caso típico de una empresa cuyo parque generador esté mayoritariamente conformado por centrales térmicas, que, en años lluviosos, el CDEC les ordena operar sólo en forma excepcional, o, a la inversa, de una empresa que, principalmente, posea centrales hidráulicas, que generaría escasa energía en años secos.

Por consiguiente, el cumplimiento de la obligación de suministro que tiene una empresa de generación con un cliente -regulado o libre-, se efectúa con producción propia o adquirida de otros generadores. El contrato se cumple por la generadora que lo ha suscrito, pero la electricidad requerida es tomada del fondo común disponible en el sistema, lo que da lugar a los traspasos de energía entre generadoras que procedan, de conformidad con las reglas de operación del CDEC respectivo.

Todo este proceso conlleva que, para determinar cuánto debe pagar o recibir en pago cada generador integrante del CDEC en su relación con el resto de los integrantes del mismo, se realiza una operación matemática de restar los retiros de energía que cada generador destina a sus clientes, valorizados a los costos marginales horarios, de las inyecciones de sus centrales que han debido operar por mandato del CDEC, también valorizadas a los costos marginales horarios. De este modo, existirán generadores con saldos negativos y otros con saldos positivos, procediéndose a los pagos correspondientes. Este procedimiento constituye el Balance de Inyecciones y Retiros de Energía del CDEC respectivo.

Adicionalmente, a cada generadora se le paga por la capacidad de producción de sus centrales (su potencia firme) y se le cobra por los retiros de potencia para sus clientes. La valorización de ambos conceptos se efectúa a los precios de nudo de la potencia, originándose así el Balance de Inyecciones y Retiros de Potencia del CDEC.

Es en este escenario regulatorio en que una generadora nuclear podría participar.

Ello significará que, el despacho de una central nuclear dependerá de su costo variable, el cual, conforme al Reglamento Interno de cada CDEC, está conformado por los costos variables combustibles y los costos variables no combustibles.

Por consiguiente, si a futuro existiera una reglamentación que obligara a las empresas propietarias de centrales nucleares a pagar un determinado cargo a efecto de contribuir a un fondo financiero que se haga cargo del desmantelamiento de tales centrales y de la gestión de los desechos radiactivos, entonces dicho cargo constituiría un costo no variable que debiera ser considerado a efectos de la declaración del costo variable total de dicha central.

En tal situación, cada vez que una central nuclear estuviere inyectando energía al sistema eléctrico al que esté interconectado, necesariamente, a lo menos, por las inyecciones de energía que realice, estaría percibiendo un precio que cubriría sus costos variables totales, incluido el eventual cargo futuro de contribución al fondo financiero.

Sin embargo, dicho precio sólo se refiere a las transferencias de energía que se producen el mercado spot, sin que necesariamente el mismo se refleje en las tarifas de sus clientes.

En efecto, como se indicó, una empresa generadora, como lo sería una central nuclear, podría suscribir contratos de suministro con empresas distribuidoras o con clientes libres.

En el caso que lo haga con empresas distribuidoras el precio que cobraría sería aquel que ofertara en procesos de licitación competitivos y de largo plazo, cuyas bases define la CNE.

Por lo tanto, conforme a la legislación actual, no existe la posibilidad que la autoridad fije una tarifa eléctrica, en que se cobre a los clientes regulados, un cargo que permita financiar el futuro desmantelamiento de las centrales nucleares o la gestión de sus desechos radiactivos.

A su vez, en los contratos con clientes libres, el precio se pacta libremente, por lo que autoridad tampoco tiene la posibilidad de fijar un cargo adicional.

Si se mantuviera este esquema, obviamente es de esperar que el dueño de una central generadora estuviera dispuesta a celebrar contratos de suministro en la medida que el precio que reciba le permita pagar y remunerar su inversión y solventar sus costos variables.

Por lo tanto, en esa perspectiva, una central nuclear no presenta inconvenientes para cobrar un precio que le permita pagar dicho cargo, sin que fuere necesario que ello se cobre a través de una tarifa regulada.

4.4. Vacíos y contradicciones

Conforme al análisis efectuado en este capítulo se pueden advertir vacíos legales en materia institucional y de normativa destinada a definir el financiamiento de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de la planta nuclear. También existen contradicciones esencialmente con el derecho nuclear internacional. Estos se pueden desglosar como sigue:

- **Existe concentración de funciones de regulación, gestión de desechos radiactivos y administración de su financiamiento en un solo órgano del Estado, la CCHEN**. En este contexto la CCHEN reúne las calidades de órgano regulador, fiscalizador y gestor del manejo de residuos nucleares, al mismo tiempo que genera residuos radiactivos, producto de sus actividades de

investigación realizada en los reactores ubicados en las dependencias de La Reina y Lo Aguirre. Además de lo anterior es la entidad encargada de definir los costos de la gestión de estos residuos y de administrar el financiamiento destinado para estos efectos. Esta concentración de funciones va en contra de la normativa y recomendaciones internacionales, así como de las prácticas empleadas por el derecho comparado analizado[786]. Tal como observado en la normativa comparada, el rol de regulador se encuentra disociado de la gestión de residuos nucleares. Muchas veces también se prefiere separar la gestión, de la administración de su financiamiento. Las ventajas de un sistema de esta naturaleza es que se logra evitar el conflicto de intereses que puede ir en desmedro de la constitución de un aporte suficiente para cubrir los costos reales de la gestión de residuos radiactivos y del desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

- **Ausencia de institucionalidad idónea para la administración del financiamiento de residuos radiactivos en todo su ciclo de vida, incluida la etapa de desmantelamiento.** La gestión de residuos nucleares y la administración de su financiamiento no se encuentran especificadas en la ley como funciones propias de la CCHEN, en conformidad con el artículo 3 de la Ley Nº 16.319 que la crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear. Para suplir este vacío legal, la CCHEN entregó, en virtud de instructivos internos, estas funciones a una unidad denominada SEGEDRA.[787] Sin embargo, dicha institucionalidad no encuentra un sustento legal, ni una definición legal de sus funciones, situación incompatible con el desarrollo de energía nuclear y la generación de residuos de alto nivel que esta industria genera. Tampoco la ley prevé una institucionalidad propia al desmantelamiento de la planta nuclear. La naturaleza actual de esta unidad creada en el corazón de la CCHEN, la imposibilita para tratar los residuos radiactivos de alto nivel, ocuparse del desmantelamiento de una planta nuclear de potencia y más aun de la administración del financiamiento destinado a cubrir los costos de estas actividades. Tal afirmación se explica principalmente por el nivel de dependencia institucional que le impide administrar un patrimonio propio y definir una estrategia de administración del mismo.

[786] Convención Conjunta sobre Seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos. Artículo 20. Órgano Regulador. 2.- "Cada Parte Contratante , de conformidad con su marco legislativo y reglamentario, adoptará las medidas adecuadas para asegurar una independencia efectiva entre las funciones reglamentarias y otras funciones cuando incumban a entidades que intervengan tanto en la gestión del combustible gastada o de desechos radiactivos como en su reglamentación".

[787] Entrevista efectuada a Mariangel, Lorena. Ingeniero Civil Química. Comisión Chilena de Energía Nuclear el 15 de Diciembre de 2009.

- **Ausencia de consagración legal del principio del que contamina paga.** A la excepción de la referencia explícita que hace el Mensaje de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, no existe en nuestro ordenamiento jurídico una consagración legal de este principio, que se pudiera aplicar también a los residuos radiactivos y al desmantelamiento de las plantas nucleares. La referencia de la Ley de Seguridad Nuclear respecto a la responsabilidad de los operadores de contribuir con "los medios" para la gestión de sus residuos, no parece suficiente para responder a los estándares internacionales existentes en la materia y que se desprenden de los tratados internacionales y de la experiencia comparada. En la práctica los generadores de residuos asumen un costo de la gestión, pero este no es total, por lo que el Estado debe asumir la diferencia entre el aporte del generador y el costo real de la gestión de residuos radiactivos. Es indispensable que este principio se consagre en la legislación nuclear, al mismo tiempo de definir los mecanismos de implementación. Esto permitiría evitar como sucede actualmente, que la gestión de desechos radiactivos sea percibida por los operadores como una obligación estatal, a semejanza de la labor asumida por los municipios respecto de los residuos domiciliarios. Para esto es necesario que se indique en forma clara y precisa quién es el sujeto obligado a efectuar el aporte (sujeto pasivo) y la entidad a cargo de definir el monto del aporte (sujeto activo).

- **Ausencia de determinación del procedimiento para definir el aporte del explotador, el contenido del aporte, su destino, entidad responsable de su definición.** El marco normativo nacional no define la manera de financiar la gestión de residuos nucleares, ni menos el desmantelamiento de una planta nuclear. La CCHEN se limita a establecer criterios de cálculo de los costos. Sin embargo, la poca claridad sobre este punto es de tal envergadura que es imposible pensar en optar por la núcleo-electricidad sin considerar el financiamiento de estos ítems. Es por lo anterior que resulta indispensable que la ley establezca la obligación del explotador y generador de residuos nucleares de financiar su gestión y el desmantelamiento de la planta, pero para ello debe establecer con precisión: la fórmula de cálculo del aporte y las partidas que lo conforman, las fórmulas de pago (mediante la implementación de fondos globales o específicos, para la gestión de eliminación y el desmalentameintogestión de eliminación y es desmantelamiento), la entidad que lo define y los criterios de definición.

- **Ausencia de tratamiento legal del desmantelamiento.** Salvo la Ley de Seguridad Nuclear que se refiere al desmantelamiento de plantas nucleares a propósito de las licencias y permisos, el marco legal chileno no regula esta actividad de manera detallada, ni menos la forma de financiarlo. Este es un tema crucial, presente en toda la legislación comparada analizada y por ende,

necesario para nuestro país en caso de decidir incorporar la energía nuclear a nuestra matriz energética.

- **Ausencia de principios normativos para la gestión de desechos radiactivos y su financiamiento, así como del desmantelamiento.** La literatura, los tratados internacionales y la legislación comparada han elaborado varios principios aplicables a la gestión de residuos radiactivos y al desmantelamiento de las plantas nucleares, además del principio del que contamina paga. Se han mencionado en este trabajo los principios de proximidad y de desarrollo sustentable, del cual se desprenden además muchos otros que buscan implementar el principio de equidad entre las generaciones presentes y futuras. Esos principios debieran recogerse en la legislación nuclear que se elabore en el país al momento de decidir desarrollar la núcleo-electricidad en el territorio nacional.

VIII. GARANTÍAS ESTATALES Y SEGUROS PRIVADOS EN MATERIA NUCLEAR

En esta materia, el informe se divide en dos secciones principales relativas a los seguros privados y a las garantías estatales, respectivamente.

Cada una de esas secciones está dividida en otros 5 apartados que son los siguientes:

(i) Los dos primeros apartados contienen los resultados del informe de avance N°1, que desarrolló el objetivo establecido en el punto Nº 2.1 de las Bases Técnicas: "*Contar con un análisis jurídico que sintetice la forma de abordar los puntos críticos que ante un eventual ingreso de la energía nuclear implicaría en el contexto de la legislación chilena vigente, identificando para ello, las alternativas existentes en la derecho comparado*".

Para la elaboración de ese primer informe de avance, se analizaron las disposiciones de los Convenios Internacionales vigentes, y en especial aquellos a los que Chile ha adherido o pudiera adherir; el derecho nuclear vigente en Francia, Estados Unidos y Japón, países elegidos por las razones expuestas; y, en base a lo anterior, los puntos críticos identificados del derecho nacional en comparación a esa experiencia internacional.

(ii) El tercer y cuarto apartado contienen los resultados del informe de avance N° 2, que desarrolló el objetivo establecido por el punto N° 2.2. de las Bases Técnicas, *"Identificación de los actuales vacíos legales o contradicciones en la legislación nacional aplicable a proyectos nucleares, a la luz del análisis efectuado en el Punto N° 2.1", y la actividad descrita en el punto N° 3.2.de las Bases, "Actividades Mínimas".*

Para la elaboración de este segundo informe, se analizó exhaustivamente el derecho vigente en nuestro país y, en base a los insumos aportados por el informe de avance N°1, relativos a los Convenios Internacionales y derecho comparado, se identificaron los vacíos y contradicciones existentes en la legislación nacional vigente en materia de seguros privados y garantías estatales.

(iii) El quinto y último apartado corresponden al informe final que, de acuerdo a las Bases Técnicas, debe dar *"cumplimiento a todos los objetivos específicos y actividades mínimas desarrollados, de acuerdo a las Bases de la Licitación, contenidas en la Resolución Exenta N° 1043, 2009 de la CNE".* En particular, y conforme a lo expuesto en la introducción de este informe, esta sección formula

las propuestas normativas pertinentes en materia de seguros privados y garantías estatales.

Con el fin de cumplir tales objetivos, se examinan las nociones básicas de seguros privados y garantías estatales **(1.)**, para luego revisar separada y detalladamente los seguros privados **(2.),** y las garantías estatales **(3.).** En estas dos últimas secciones, se estudiará lo siguiente para cada una de esas unidades temáticas: las Convenciones Internacionales; los sistemas de derecho comparado estudiados en la materia; la legislación chilena y los puntos críticos, vacíos y contradicciones de nuestra legislación nacional.

1. Explicación sintética de las nociones de seguros privados y garantías estatales.

Como ocurre generalmente con las responsabilidades objetivas establecidas por el legislador, al atribuir los riesgos de la actividad a su explotador, se establece la obligatoriedad de contar con un seguro de responsabilidad civil que, por una parte, garantice a las víctimas la reparación y, por otra parte, permita distribuir el costo del riesgo entre todos los asegurados. Así, el seguro de responsabilidad civil cumple la doble función de distribuir el costo de los accidentes entre todos los potenciales responsables (en este caso los explotadores de la energía nuclear), y constituir una garantía de reparación para las víctimas.

No obstante, en el ámbito de la energía nuclear, y en atención a los elevados riesgos de daños masivos que genera esa actividad, algunos instrumentos internacionales exigen contar con garantías públicas que constituyan un complemento de los seguros privados, o que puedan operar en su defecto.

El denominado principio de "congruencia entre la responsabilidad y el grado de protección", presente en los instrumentos internacionales sobre la responsabilidad nuclear, exige que el explotador esté asegurado o dé otras garantías financieras de su responsabilidad por daños nucleares en la cuantía, clases y condiciones que establezca el Estado de su instalación[788].

La congruencia entre responsabilidad y garantía asciende en términos generales hasta el monto de limitación de la primera, y no opera en términos ilimitados.

Como se verá al revisar la experiencia de Estados Unidos, Francia y Japón, el principio de congruencia puede obtenerse mediante: un seguro privado contratado en el

[788] OIEA, *Manual de derecho nuclear*, Viena, OIEA, 2006, p. 124.

mercado de seguros; una garantía otorgada por el Estado; o, una combinación de ambos.

En definitiva, el sistema de indemnización en materia de riesgo nuclear civil está organizado en capas. Al ser en general una responsabilidad estricta con límites de montos indemnizables, pero tratándose al mismo tiempo de daños que pueden llegar a tener costos sin precedentes, se elige repartir los riesgos de indemnización entre distintos actores: seguros privados y garantías estatales.

En general, la obligación de contar con un seguro para cubrir accidentes nucleares se impone como obligación en los instrumentos internacionales tanto a operadores como a transportadores de sustancias nucleares, cuando estos últimos tienen una responsabilidad nuclear diferenciada del operador. La mayoría de las veces la protección la ofrece el asegurador, aún cuando la capacidad del mercado asegurador internacional es limitada, y es por esto que en ocasiones los límites de indemnización se fijan teniendo en cuenta el grado de protección que es posible obtener en ese mercado. De eso depende la viabilidad actual y futura de los seguros en esta área, en el caso nacional.

Los seguros privados en la materia tienen ciertas particularidades, pues se trata de un mercado restringido en clientes pero de cuantías elevadas. Por estas mismas cuantías, es usual que los Estados impulsen consorcios de compañías aseguradoras nacionales para hacer frente a estas coberturas, y al mismo tiempo utilicen los sistemas de reaseguros. A ello se suma que el "riesgo" en materia de seguros nucleares es esencialmente un riesgo de catástrofe, esto es, un siniestro sumamente caro pero que es estadísticamente raro.

Los aseguradores, por su parte, por el carácter extraordinario de estos accidentes, no poseen muchas estadísticas concretas para calcular las primas y el costo de los siniestros, por lo que las evaluaciones se efectúan esencialmente sobre bases actuariales y teóricas.

Por esto, la viabilidad de los seguros privados depende en gran medida de las definiciones que se adopten a nivel de responsabilidad nuclear, en la medida que entregarán antecedentes fundamentales para medir la intensidad del riesgo: la definición de los daños indemnizables; el establecimiento de límites a los montos de indemnización; la creación de garantías estatales suplementarias; la definición de los plazos de prescripción, durante el cual estarán pendientes las indemnizaciones; la precisión de los sujetos que deben asegurarse obligatoriamente; la noción de accidente o incidente nuclear que desencadene la aplicación de estas normas particulares, entre otras variables.

En cuanto a las garantías estatales, ellas pueden operar como segunda capa de cobertura, usualmente en complemento del seguro, o también en sustitución del mismo, a veces con un acuerdo previo con el Estado. También, como veremos, en el marco de las Convenciones Internaciones existen fondos de indemnización internacionales.

A diferencia de los seguros, las garantías estatales presentan menos incertidumbres en cuanto a posibles exclusiones y excusas que dejen a las víctimas sin cobertura.

Por su parte, en un esquema en que el Estado participa en la propiedad de las centrales, el otorgamiento de garantías estatales parece un justo equilibrio entre obtención de los frutos y contribución al control del riesgo.

2. Seguros privados en materia de responsabilidad nuclear

2.1. Descripción de las Convenciones Internacionales

En la materia que aquí interesa, existen diversos instrumentos normativos de carácter internacional que tienen una incidencia relevante, a saber:

- La Convención de Viena de 1963 sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares y Protocolo de Enmienda a la Convención de Viena de 1997.

- El Convenio de París de 1960 acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear y Protocolo de Enmienda a al Convenio de París de 2004.

Ambos instrumentos contienen provisiones que establecen el marco jurídico dentro del cual pueden desenvolverse las distintas opciones legislativas nacionales para regular la responsabilidad por daños vinculada a la energía nuclear. En efecto, los principios básicos que consagran, así como el contenido esencial de estos instrumentos se aceptan actualmente a nivel internacional como la solución jurídica adecuada en materia de responsabilidad nuclear[789].

Es importante destacar que, como se ha expuesto previamente[790], las convenciones antes citadas pueden ser divididas en dos grupos, atendido el contexto institucional y regional del que forman parte.

Dentro de un primer grupo se encuentran aquellas convenciones dictadas al alero de la OCDE: Convenio de París (CP), Convenio de Bruselas (CB,) y el Protocolo de Enmienda de 2004.

[789] Manual de Derecho Nuclear, IAEA, pg. 119.
[790] *Ibídem* parte relativa a los regímenes de responsabilidad.

Mientras en el segundo grupo se encuentran aquellas convenciones surgidas en el contexto de la Organización de las Naciones Unidas y su Agencia Internacional para la Energía Atómica: Convención de Viena (CV) y Protocolo de Enmienda a la Convención de Viena (PV).

No obstante esta división, en la práctica estos cuerpos normativos junto con los instrumentos que las complementan o modifican, establecen normas bastante similares en cuanto a los aspectos más relevantes de la regulación de la responsabilidad. En consecuencia, a continuación se revisarán las normas consagradas a tales aspectos decisivos en la determinación de la extensión de la responsabilidad y consecuencialmente de los límites de la cobertura de los seguros.

Los aspectos que examinaremos en esta sección son los siguientes: La obligación de contar con seguros **(2.1.1.)**; El concepto de daño y las consecuencias derivadas de su amplitud **(2.1.2.)**; Los límites de la responsabilidad y de los seguros asociados a ella **(2.1.3.);** La extensión en el tiempo de la obligación de indemnizar eventuales daños **(2.1.4.)**; Los presupuestos de exclusión de responsabilidad del explotador **(2.1.5.);** y, Los deberes del asegurador **(2.1.6.).**

Antes de entrar en la materia, es necesario hacer una prevención metodológica. Como también se señaló en la sección correspondiente a la responsabilidad civil nuclear, la modificación del Convenio de París no ha entrado en vigor, y la de la Convención de Viena sí, pero no ha sido adherida por Chile, por lo que *a priori* podría parecer más pertinente el examinar los regímenes en vigor a la fecha. No obstante, el proyecto nuclear de Chile está en un estado embrionario, y es probable que si se llega a concretar, esto ocurrirá en un plazo no inferior a 10 o 15 años. A esa fecha, es altamente probable que ambas enmiendas estén en vigor en el mundo, y que nuestro país deba adecuarse a su nueva terminología y no a la antigua. Por esto, hemos estimado pertinente examinar tanto el régimen vigente que se está aplicando en la actualidad como el régimen de responsabilidad establecido por las enmiendas de ambos instrumentos.

En lo referente al concepto de daño y exclusión de responsabilidad nos limitaremos a recordar algunos de sus elementos básicos, vinculados directamente al tópico de seguros y garantías financieras, dado que estos temas ya fueron tratados con mayor detalle en la parte relativa a los regímenes de responsabilidad del presente informe.

2.1.1. La obligación de contar con Seguros

Sin perjuicio de la determinación de los aspectos generales de la responsabilidad los instrumentos internacionales establecen expresamente la obligación de contar con

seguros u otra garantía financiera por parte del explotador, a fin de cubrir los daños indemnizables.

El Convenio de París de 1960 indica en su artículo 10 que todo explotador, para cubrir la responsabilidad civil prevista en dicho Convenio, estará obligado a tener y mantener un seguro u otra garantía financiera por la cuantía establecida conforme al artículo 7(*a*) o 7(*b*) o al artículo 21(*c*). La determinación de la clase y condiciones del seguro han de ser establecidas por la autoridad pública competente. Ha de tenerse en cuenta que si bien la cuantía del seguro siempre es dependiente de los límites de la responsabilidad, como se verá más adelante, dichos límites generales pueden ser distintos a los señalados en el Convenio, cuando las condiciones de acceso del explotador a un seguro acorde con esas sumas no sea posible.

Por su parte, la Convención de Viena de 1963 establece en su artículo 7 Nº 1 que el explotador debe contar con un seguro u otra garantía financiera que le permita cubrir su responsabilidad derivada de daños nucleares. A diferencia de lo establecido en el Convenio de París, el cual en principio vincula no sólo la naturaleza y clase sino también la cuantía a los montos fijados al régimen general de responsabilidad por daños nucleares, el instrumento de Viena entrega al Estado parte la determinación tanto de la cuantía, así como de la naturaleza y condiciones del seguro o garantía financiera.

Dada esta limitación en el importe del seguro, el Estado parte adquiere una responsabilidad complementaria en la cobertura de los daños originados en un incidente nuclear, cuestión que será tratada en la sección (3.) de este capítulo, referido expresamente a las garantías estatales.

2.1.2. Concepto de daño

Tal como se señaló en la sección correspondiente al concepto de daño en la parte relativa a la responsabilidad civil nuclear de este informe, tanto el Convenio de París como la Convención de Viena coinciden en la definición de daño en materia nuclear.

Ambos instrumentos ampliaron ostensiblemente los tipos de daños, cubriendo prácticamente todo lo que se podría imaginar. A lo que respecta los daños diversos de de “muerte o daño físico” y “pérdida o daño a los bienes”, la apreciación de su amplitud puede recaer en los tribunales nacionales, por lo que estas categorías de perjuicios pueden ser intervenidas por los tribunales y legislaciones nacionales en lo que atañe la apreciación de la extensión de su reparación.

Podríamos por ejemplo imaginar que legislaciones nacionales puedan disponer de indemnizaciones limitadas a sumas predeterminadas para daños ambientales.

El concepto de daño otorgado resulta un componente fundamental para determinar los límites de la cobertura provista por el seguro, tal definición fija las consecuencias derivadas del accidente nuclear que pueden caber bajo el régimen de responsabilidad. La amplitud de las definiciones provistas en estas normas, en la práctica, resultan en un concepto de daño tan amplio que, excepto por la posibilidad de cada Estado de determinar la extensión de ciertos daños, éste casi no presenta límites en relación a la naturaleza de los hechos que originan la responsabilidad, que han de estar cubiertos por los respectivos seguros.

Cabe señalar que la única limitación en cuanto a la aplicación de los fondos correspondientes al seguro y otras garantías financieras se refiere a que estos podrán ser destinados exclusivamente al resarcimiento de los daños cubiertos por la Convención de Viena o el Convenio de París.

En consecuencia los montos y las excepciones instauradas en los diversos cuerpos normativos internacionales a los que hemos hecho referencia resultan efectivamente determinantes para establecer el real alcance de la cobertura.

2.1.3. Límites de la responsabilidad

En cuanto a los límites de la responsabilidad, es importante destacar que, los instrumentos internacionales que regulan la responsabilidad por daños nucleares por regla general no fijan montos máximos de indemnización, por el contrario estos fijan niveles mínimos de cobertura que deben garantizar los Estados partes mediante su legislación nacional.

Igualmente, es relevante señalar que en cuanto a los límites de la responsabilidad se observa un desarrollo progresivo consistente en el incremento continuo de los montos destinados a la reparación de los daños.

En esta sección examinaremos detalladamente esta evolución en ambos instrumentos y sus diferentes enmiendas de manera cronológica.

2.1.3.1. Convenio de París de 1960, acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear

2.1.3.1.1. Texto vigente

Este convenio en su actual versión producto de la modificación experimentada en el año 1982, establece como límite superior para la responsabilidad del explotador el monto de aproximadamente US$ 24 millones (15 millones de DEG[791]).

Sin perjuicio de ello, el Convenio reconoce la facultad de cada uno de los Estados signatarios de fijar un monto inferior al indicado. En cuanto a la decisión de reducción del límite de responsabilidad del explotador, los Estados están sujetos a un límite inferior, que corresponde a la suma de aproximadamente US $ 8 millones (5 millones de DEG), reducción que en todo caso ha de estar directamente vinculada a la naturaleza de la instalación nuclear o de las substancias causantes del daño y las consecuencias previsibles de un accidente que las involucre. (Art. 7, letra b), nº i y ii).

Como ya se ha mencionado, especial relevancia posee la variable del mercado de seguros del Estado parte. En efecto, el artículo 7º letra b número i) señala que la legislación interna puede determinar sumas mayores o menores de la cuantía de la responsabilidad, atendida la posibilidad del explotador de obtener un seguro u otra garantía financiera, de acuerdo a lo exigido por el artículo 10º del mismo instrumento.

2.1.3.1.2. Enmienda de 2004 al Convenio de París

Producto de la revisión suscrita en febrero de 2004, se establecieron nuevas sumas en materia de entidad de la cobertura. Así, la cantidad mínima por la cual responde el explotador pasaría a ser de 700 millones de Euros[792].

En seguida, la modificación de 2004 introduce un régimen diferenciado de la suma de cobertura. En caso de tratarse de situaciones con riesgo reducido, se indican sumas diferenciadas en caso de que el riesgo provenga de una instalación o del transporte de sustancias. En el primer caso, tratándose de instalaciones de bajo riesgo, la suma de cobertura mínima que el Estado parte puede establecer alcanza a la cifra de 70 millones de Euros. Si se trata de la cobertura de riesgos derivados del transporte de sustancias nucleares, entonces la suma se eleva a 80 millones de Euros.

[791] DEG = US$ 1.59720

[792] Como lo demuestra la enmienda de 2004, se abandona en la determinación de las cantidades vinculadas a la cobertura la medida del DEG y pasa a ser sustituida por la determinación de las cifras en Euros.

Es necesario, asimismo, destacar que en virtud de las modificaciones que el Protocolo introduce al artículo 7 del Convenio, desaparece la facultad de fijar cuantías de responsabilidad diferentes a las consagradas en el instrumento internacional, en atención a la posibilidad del explotador de obtener seguros o garantías financieras acordes con esos montos.

Sin embargo, en el artículo 21 se agrega un nuevo párrafo, que autoriza a los Estados partes, que adhieran a este Convenio con posterioridad al día 1º de enero de 1999, a disponer en sus legislaciones internas que la responsabilidad del explotador de los daños causados por un accidente nuclear podrá limitarse a una cuantía transitoria que no sea inferior a 350 millones de Euros por un accidente nuclear. Esta facultad es aplicable para aquellos incidentes nucleares que ocurran durante un periodo máximo de cinco años a contar desde la fecha de la adopción del Protocolo de 12 de febrero 2004 de modificación de ese Convenio.

En la práctica, esta disposición carece de toda posibilidad de ser aplicada, atendido el hecho que el Protocolo de 2004 aún no entra en vigencia, y que el plazo de 5 años no fue establecido con relación a la fecha de efectiva entrada en vigencia del instrumento, sino con una referencia directa a una fecha específica. No obstante su nula aplicación práctica, es destacable la tendencia del Protocolo a facilitar su adopción e implementación.

Junto a ello, la modificación de 2004 introduce un nuevo literal en el artículo 10 de la Convención, el cual se refiere a los límites del seguro o garantía financiera. En efecto, el aprobado nuevo literal b) del artículo citado señala que en aquellos casos en que la responsabilidad del explotador carezca de un límite, es deber del Estado parte el establecer un límite máximo para el seguro o la garantía financiera. Tal límite, en todo caso, no puede ser nunca inferior a las sumas mínimas fijadas en materia general de responsabilidad, las cuales se han indicado en el párrafo precedente.

2.1.3.2. Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (CV)

2.1.3.2.1. Texto vigente

A la fecha de su aprobación, 1963, este instrumento indicó en su artículo 5 párrafo 1º, que el Estado de la instalación podía limitar el importe de la responsabilidad del explotador a una suma no inferior a US$ 5 millones.

Llama la atención lo reducido de este límite a las indemnizaciones por daños nucleares, poco adecuado para enfrentar las consecuencias de un accidente nuclear. Esto resulta especialmente curioso si se compara a los límites de la responsabilidad,

establecidos en el Convenio de París ya aprobado a la fecha de dictación de esta Convención.

2.1.3.2.2. Enmienda de 1997

Con posterioridad, en el año 1997, se aprobó el Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena, el cual contiene importantes mejoras en cuanto al importe de la compensación obligatoria para el explotador. En efecto, al artículo 7 de este Protocolo, que modifica el citado artículo 5 establece la suma de aproximadamente US$ 480 millones (300 millones de DEG) como el importe mínimo que un Estado parte debe disponer para el pago de indemnizaciones por daños nucleares.

Estos US$ 480 millones pueden ser cubiertos únicamente mediante el seguro del explotador, o bien pueden ser aportados en forma conjunta por el Estado parte y el seguro del explotador. En este caso, el monto mínimo que debe ser provisto por el seguro del explotador es de aproximadamente US$ 240 millones (150 millones de DEG). Adicionalmente, el Protocolo otorga la posibilidad de limitar la responsabilidad del explotador a una suma no menor a aproximadamente US$ 160 millones (100 millones de DEG) por un periodo máximo de 15 años, o incluso a una suma inferior pero con la condición de que ese Estado aporte fondos públicos hasta completar un mínimo de US$ 160 millones (100 millones de DEG).

Asimismo, el Protocolo incorpora los supuestos de riesgo reducido que ya estaban presentes en el Convenio de París. Para estos casos, el numeral 2º del artículo V reformado de la Convención de Viena dispone que el Estado parte puede determinar una cuantía menor de la responsabilidad del explotador, en consideración a la naturaleza de la instalación nuclear o de las sustancias nucleares de que se trate y las posibles consecuencias de un incidente originado en ellas, en tal caso el importe no puede ser inferior a aproximadamente US$ 8 millones (5 millones de DEG). Es condición de esta reducción que el Estado de la instalación garantice la aportación de fondos públicos hasta el importe determinado en el párrafo primero de la misma disposición.

Por último, cabe señalar que las cifras aquí indicadas pueden ser objeto de modificación en conformidad a un procedimiento establecido en artículo V. del mismo Protocolo de Enmienda.

Para estos efectos, el Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica debe convocar a una reunión de los Estados parte con el fin de modificar el importe máximo de la responsabilidad a que se refiere el artículo V, cuando un tercio de los Estados parte exprese tal deseo. Dichas modificaciones deberán ser aprobadas

por una mayoría de dos tercios de los Estados parte presentes y votantes, siempre que por lo menos la mitad de estos esté presente en el momento de la votación.

Cabe señalar que para proceder a aprobar una propuesta de modificación de los importes máximos, la reunión de los Estados parte debe tener en cuenta diversos factores relevantes en la decisión, entre los que se cuentan el riesgo de daños derivados de un incidente nuclear, los cambios de los valores monetarios y la capacidad del mercado de seguros.

En el mismo modo en que se estableció en 2004 una modificación al Convenio de París con relación a los límites que pueden imponerse a los seguros o garantías financieras, el Protocolo de Enmienda de 1997 de la Convención de Viena altera en el mismo sentido a dicho instrumento.

De esa manera, el artículo 9 que agrega un nuevo párrafo al artículo VII de la Convención, establece que en caso que la responsabilidad del explotador no tenga límite, el Estado de la instalación podrá establece un importe máximo de la garantía financiera del explotador responsable. Ello bajo la condición que el importe del seguro no sea inferior a aproximadamente US$ 480 millones (300 millones de DEG).

Al igual que en el régimen general de responsabilidad, la circunstancia de encontrarnos frente a un supuesto de riesgo reducido también presenta particularidades. Así, se indica que sin perjuicio de lo anteriormente indicado, en caso que la responsabilidad del explotado no tenga límites, el Estado de la instalación puede determinar un importe inferior para la garantía financiera del explotador.

Esto último, en consideración a la naturaleza de la instalación nuclear o de las sustancias nucleares presentes y de las posibles consecuencias de un incidente allí originado. En todo caso, el importe así establecido no podrá ser menor a aproximadamente US$ 8 millones (5 millones de DEG).

Asimismo, se indica que el Estado de la instalación garantizará el pago correspondiente a las demandas de indemnización de daños nucleares que se hayan entablado contra el explotador, en la medida en que el producto de la garantía financiera sea insuficiente para satisfacer dichas demandas, pero sin rebasar el importe de la garantía financiera que haya de darse de conformidad con ese párrafo.

2.1.3.2.3. Convenio de Bruselas Complementario al Convenio de París (CB)

El Convenio de Bruselas establece un régimen de cobertura de los daños derivados de un incidente de carácter nuclear, complementario al régimen dispuesto por el Convenio de París, en cuanto instaura un sistema de cobertura conformado por

garantías estatales y fondos públicos internacionales, adicionales a los seguros del explotador que determina ese Convenio.

No obstante lo anterior, el texto vigente de este Convenio, en conformidad a su versión revisada el año 1982, al determinar en su artículo 3 la forma en la cual se repararán los daños nucleares que deben ser cubiertos en virtud de este instrumento, establece que el seguro o garantía financiera que debe poseer el explotador, ha de alcanzar una cuantía al menos igual a, aproximadamente, US $ 8 millones (5 millones de DEG).

Como se puede observar, el texto de Bruselas sí hace referencia a los límites de la cuantía del seguro, resultando entonces no ser sólo complementario del Convenio de París, sino en cierto modo modificatorio del mismo, en cuanto este último señala como límite al seguro la cifra de US $ 24 millones (15 millones de DEG). Ha de recordarse que el Convenio de Bruselas sólo pretendía referirse a las garantías estatales y fondos públicos internacionales, lo cual no sucede.

Sin perjuicio de lo señalado, con las respectivas modificaciones que ambos cuerpos normativos experimentan el año 2004, mediante los Protocolos de Enmienda, las sumas de ambos instrumentos se equiparan en 700 millones de Euros.

2.1.4. Extensión en el tiempo de la garantía.

El Convenio de París, al igual que la Convención de Viena, en sus artículos 8 y VI respectivamente, limitan el ejercicio de las acciones tendientes a obtener la indemnización por el daño originado en un incidente nuclear.

2.1.4.1. Convenio de París de 1960, acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear.

Este instrumento contempla una regulación de los plazos de ejercicio de las acciones, pero como veremos, a diferencia de la Convención de Viena no contempla disposiciones especiales referidas al ejercicio de acciones en consideración a posibles plazos superiores a los establecidos en este Convenio, que puedan contener los seguros.

2.1.4.1.1. Texto vigente

En el caso del Convenio de París se establece un plazo de 10 años a contar del accidente nuclear. Sin perjuicio de lo anterior, un Estado parte puede establecer un plazo de caducidad superior a 10 años, bajo la condición que su legislación disponga de medidas para cubrir la responsabilidad del explotador frente a acciones de reparación ejercidas contra éste después de caducado el plazo de 10 años.

Adicionalmente, el Convenio de París contempla también la posibilidad para el Estado parte de establecer un plazo de caducidad o prescripción de al menos 2 años, contados desde el momento en que el afectado toma conocimiento tanto del daño nuclear como del explotador responsable, o bien contado desde que razonablemente debió tener conocimiento de ello

2.1.4.1.2. Enmienda del 2004

El Protocolo de Enmienda al Convenio de París recoge la tendencia de proteger de manera más intensa a potenciales víctimas en caso de muerte u otros daños corporales, fijando para este supuesto un plazo de ejercicio de las acciones que se extiende a 30 años. Para el resto de los daños originados en un incidente nuclear se mantiene el plazo de 10 años.

El texto del Convenio de París modificado, contempla de igual forma la posibilidad para el Estado parte de establecer un plazo de caducidad o prescripción diferenciado, que se cuenta desde el momento en que el afectado toma conocimiento tanto del daño nuclear como del explotador responsable, o bien contado desde que razonablemente debió tener conocimiento de ello. Sin embargo, el plazo se amplia a 3 años.

Adicionalmente, se establece que esta posibilidad de fijar un plazo especial, debe sujetarse a los plazos de prescripción de 10 y 30 años, ya comentados.

2.1.4.2. Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (CV)

2.1.4.2.1. Texto vigente

La Convención de Viena señala un plazo idéntico al establecido en el Convenio de París para el ejercicio de las acciones legales tendientes a la indemnización, esto es, 10 años. A diferencia del Convenio de París, no contempla la posibilidad de fijar un plazo más allá de aquél.

2.1.4.2.2. Enmienda de 1997

El Protocolo de Enmienda a la Convención de Viena - al igual que el Protocolo de Enmienda al Convenio de París - contempla una significativa ampliación del plazo para el ejercicio de las acciones legales indemnizatorias tratándose de muertes de personas u otros daños corporales. Al igual que en el caso que hemos revisado en el apartado anterior, el plazo en esos supuestos se extiende a 30 años.

2.1.3.2.3. La extensión de los plazos en virtud de seguros u otras garantías financieras

Tanto la Convención de Viena en su actual texto vigente, así como el Protocolo de Enmienda de 1997 señalan la posibilidad de que los plazos de caducidad o prescripción para el ejercicio de las acciones legales indemnizatorias, se extienda más allá de los plazos que aquí se han señalado.

Ello en el evento de que los seguros u otras garantías financieras que el explotador está obligado a suscribir establezcan plazos de cobertura mayores a aquellos indicados en los textos internacionales. En tal caso, los plazos superiores de los seguros prevalecen sobre aquellos establecidos en la Convención o en el Protocolo de Enmienda.

El plazo de tiempo durante el cual debe extenderse la cobertura del seguro de responsabilidad del explotador resulta un punto especialmente sensible en esta materia.

Por un lado, encontramos a las aseguradoras que consideran que los plazos de prescripción de 10 y 30 años dificultan la posibilidad de estimar los riesgos asociados a la cobertura provista por el seguro. Por otro lado, la evidencia en esta materia indica que las consecuencias de un accidente nuclear, especialmente aquellas sobre la salud pueden manifestarse de manera muy posterior a la ocurrencia de tal accidente.

2.1.5. Exoneraciones

Los supuestos de hecho que permiten la exoneración de la responsabilidad del explotador y en consecuencia del seguro, en el CP y en el CV son idénticas. Ambas convenciones reconocen diversos casos en los cuales no procede la aplicación de la responsabilidad del explotador, estos son: conflicto armado, hostilidades, guerra civil o insurrección.

Las posibles dificultades derivadas de este caso excepcional se vinculan con la calificación de la existencia de uno de estos supuestos fácticos en la práctica.

Sin embargo, derivado de esta circunstancia que excluye la responsabilidad del explotador surge la interrogante respecto al rol que debiesen desempeñar tanto las garantías estatales, como los fondos internacionales.

2.1.6. Responsabilidades del asegurador

Las Convenciones Internacionales que aquí se mencionan, junto con regular los aspectos de la responsabilidad y cobertura de los daños que ya se han expresado, contemplan también algunas disposiciones relativas a los deberes del asegurador, que resulta importante tener presente.

Así, el Convenio de París de 1960, en su versión modificada de 1982, establece una regla sobre la suspensión del seguro o garantía financiera. En efecto, el artículo 10 letra b) de dicho instrumento indica que para que el asegurador pueda legítimamente suprimir o suspender el seguro o garantía financiera, debe dar un aviso previo de a lo menos 2 meses.

Dicho aviso debe darse por escrito a la autoridad pública competente. Adicionalmente, si el seguro o garantía financiera cubre los riesgos derivados del transporte de sustancias nucleares, éste tampoco puede suspenderse o suprimirse mientras el transporte esté en curso.

2.2. Análisis de los sistemas jurídicos comparados

Como ya se ha expuesto tantas veces, por las relaciones que existe entre los daños a indemnizar en materia nuclear y las garantías para la cobertura de esos daños, se ha decidido analizar la experiencia comparada centrándose en unos mismos tres países: Francia, Estados Unidos y Japón.

En la sección de responsabilidad civil nuclear se justificó latamente esta elección, y nos remitimos a ella para estos efectos[793].

Sólo se hace presente aquí que las justificaciones expuestas atienden, en esencia, a la homogeneización que han provocado en el mundo los Tratados Internacionales analizados (por ello, existe la necesidad de examinarlos en detalle); y, porque esos tres países constituyen, en esencia, los tres modelos principales de regulación de las relaciones entre responsabilidad civil nuclear, por una parte, y seguros y garantías estatales, por otra.

En complemento de lo expuesto, y centrándose en aquello relevante para los seguros privados, las garantías estatales y los fondos internacionales, se agrega que los tres sistemas comparados elegidos representan, en esencia, los tres modelos principales de regulación de estas materias por las siguientes razones (respondiendo los restantes países en general a matices de esos modelos principales):

[793] Véase lo expuesto en el capítulo relativo a la responsabilidad civil nuclear.

- En el caso del derecho francés, el sistema funciona sobre la base de tres capas: seguros privados, garantías estatales y fondos internacionales que derivan del Convenio de París (según la modificación del Convenio de Bruselas). Los dos últimos actúan de forma subsidiaria y, la mayor parte de las veces, de forma complementaria a los seguros privados. Por obedecer la responsabilidad a unos mismos principios, y por la circunstancia de existir la posibilidad de adherir al Convenio de París, esta experiencia resulta particularmente interesante desde la perspectiva chilena.

- En cuanto al sistema de Estados Unidos, éste representa un modelo distinto de relación entre la responsabilidad limitada nuclear y la garantía de su pago. En efecto, su sistema se estructura preferentemente sobre garantías privadas en dos niveles: uno primario, sobre la base de pólizas con compañías aseguradoras, y uno secundario, sobre la base de primas retroactivas que operan mediante consorcios de compañías y que gravan a todos los explotadores con determinadas sumas. La intervención de la garantía estatal es excepcional y subsidiaria, y requiere en cada caso la participación del Congreso.

- Por último, el caso de Japón, presenta una doble particularidad en las relaciones entre responsabilidad y estas garantías, que lo convierte en un modelo específico. En este sistema los montos mínimos de cobertura se revisan necesariamente cada 10 años, y existe una amplia posibilidad de que los actores suscriban acuerdos con el Estado para garantizar las elevadas sumas mínimas de las garantías.

Los tres países elegidos, en consecuencia, obedecen a tres distintos modelos de seguros, garantías estatales y fondos de inversión, y es posible sostener que el resto de los países con generación eléctrica nuclear prevén una regulación que se acerca a alguno de esos tres modelos con ciertos matices. De ahí que se justifique el tratamiento de esos tres sistemas en detalle.

En consecuencia, examinaremos en una primera sección el caso de Francia **(2.2.1.**), de Estados Unidos **(2.2.2.),** y de Japón **(2.2.3.).**

2.2.1. Seguros Privados en Francia

Examinaremos a continuación: El marco normativo vigente **(2.2.1.1.);** La obligación de contar con un seguro **(2.2.1.2.);** El concepto de daño **(2.2.1.3.);** La extensión de la garantía en el tiempo **(2.2.1.4.);** y, el ejercicio de la acción indemnizatoria **(2.2.1.5.).**

2.2.1.1. Marco normativo

La legislación francesa en materia de responsabilidad civil por daños nucleares, deriva directamente del régimen de responsabilidad establecido en el Convenio de París y el Convenio de Bruselas complementario al primero.

En efecto, el cuerpo legal dictado en Francia sobre la materia, esto es, la ley Nº 68-943 de 30 de octubre de 1968, modificada por la ley Nº 90-488 de 1990, regula aquellos aspectos relativos a la responsabilidad del explotador y del transportador, cuyo tratamiento fue dejado a la iniciativa de los Estados partes por el Convenio de París.

Esta facultad de los Estados partes está específicamente establecida en el artículo 10º de ese instrumento, el cual señala que la clase y condiciones del seguro, que todo explotador está obligado tener y mantener para cubrir la responsabilidad prevista en el mismo, serán determinadas por la autoridad pública competente.

Igualmente, es importante tener en consideración que la Ley Nº 2006-686 de 2006 introduce nuevas modificaciones a la Ley Nº 68-943 relativa a la responsabilidad civil en materia de energía nuclear, pero estas modificaciones sólo serán aplicables una vez que entre en vigencia el Protocolo de Enmienda de 2004 al Convenio de París.

2.2.1.2. La obligación de contar con un seguro[794]

En concordancia con los ya mencionados instrumentos internacionales, existe la obligación de contar con un seguro o garantía para cubrir accidentes nucleares. Este deber se impone tanto a explotadores como a transportadores de sustancias nucleares. Por otra parte, la normativa francesa contempla la aplicación de sanciones en caso de incumplimiento de las obligaciones previstas en la ley que rige esta materia, por el explotador o el transportador.

2.2.1.2.1. Seguro del explotador

El artículo 7 de la Ley Nº 68-943[795], señala que el explotador tiene la obligación de contar con un seguro u otro tipo de garantía financiera, de una cuantía acorde al

[794] De manera general, Francia, la entidad que desempeña un rol fundamental en materia de seguros es *la Caisse Centrale de Réassurance*. En efecto, esta sociedad compuesta en un 100% por capitales estatales, puede practicar operaciones de seguro y reaseguro de riesgos excepcionales, tales como guerras, desordenes populares y conflictos laborales[794]. En especial, de acuerdo a lo establecido en el artículo L.431-5 del Código de Seguros, esta sociedad es la responsable de otorgar a los explotadores de instalaciones nucleares cobertura, en conformidad a lo establecido en la ley nº 68-943.

[795] Modificada por última vez por la ley Nº 2006-686 de 13 de junio de 2006. Las normas en adelante que hacen referencia a esta ley son citadas en conformidad al texto vigente producto de esa modificación.

monto total de su responsabilidad, establecida en el artículo 4º de la ley, vale decir 700 millones de Euros, de acuerdo a lo que dispone el artículo 7º del Convenio de París.

Este seguro o garantía puede constituirse de diversas formas[796]:

- Puede ser un seguro privado contratado en el mercado de seguros.
- Puede ser una garantía otorgada por el Estado.
- Puede ser una combinación de ambos.

2.2.1.2.2. Seguro del transportador

En caso de transporte de sustancias nucleares dentro del territorio francés, el transportador debe contar con un seguro o garantía equivalente, que cubra la suma de 80 millones de Euros por accidente nuclear, cuando se trata de países Contratantes al Convenio de París, y de 1,2 millares de Euros en los demás casos, conforme lo dispuesto en el artículo 9-2 de la ley Nº 68-943.

Ha de tenerse presente, que de acuerdo al artículo 9-3 de la ley citada previamente, en caso de transporte internacional no cubierto por el Convenio de París, el transportador debe de justificar la existencia de una garantía financiera, por medio de un certificado del asegurador o de la persona que provea la garantía financiera, indicando entre otros elementos, el nombre, tipo y duración de la garantía.

Si el transporte internacional se realiza en el ámbito de aplicación del Convenio de París, la garantía ha de suscribirse en conformidad al artículo 4º de la ley 68-943, esto es, por un monto de 700 millones de Euros.

2.2.1.2.3. Sanciones

El artículo 18 de la ley señala que en caso de infracción a la obligación de contar con un seguro o garantía equivalente, la persona responsable será sancionado con 5 años de reclusión y / o 150.000 Euros de multa.

Esta misma disposición también establece que el transportador que no disponga de los certificados del asegurador, requeridos para transportar substancias nucleares dentro del territorio francés, deberá cancelar una multa ascendiente a 15 mil Euros.

[796] El Ministro de Economía y Finanzas tiene la facultad de otorgar a los explotadores de instalaciones nucleares una garantía estatal, previa proposición del Ministro Encargado de la Energía Atómica, la cual substituye en todo o parte el seguro u otra garantía financiera.

Por último, se contempla como sanción la suspensión del funcionamiento de una instalación o de un transporte en curso, en caso de no contar el explotador o el transportador con los medios para justificar la existencia de un seguro comprometido.

2.2.1.3. El concepto de daño, riesgos cubiertos y noción de siniestro

En este punto la regulación francesa interna no contiene disposiciones especiales en la materia, sino que los riesgos cubiertos y la noción de siniestro, acorde al numeral vii) [797] del artículo 1º del Convenio de París[798].

2.2.1.4. La extensión de la garantía en el tiempo

El plazo de prescripción de las acciones indemnizatorias se establece en conformidad al Convenio de París, 30 años para daños personales y 10 años para los demás tipos de daño.

En lo que respecta a los daños corporales, un decreto dictado por le Ministro encargado de la Energía Atómica y por el Ministro encargado de Asuntos Sociales ha de establecer, en función de la irradiación y de la contaminación sufrida y del plazo en el cual la afectación fue constatada, una lista no limitativa de afecciones que, salvo prueba en contrario, se presumen originadas por un accidente nuclear.

2.2.1.5. Ejercicio de la acción indemnizatoria

Las víctimas tienen la facultad de demandar directamente al seguro del explotador responsable o a la persona que hubiere otorgado una garantía financiera.

Para el conocimiento de las demandas de indemnización en esta materia, el artículo 17 de la Ley señala que el *Tribunal de Grande Instance de París* es competente cuando:

- el accidente se produjo en el territorio francés

- los tribunales franceses son competentes en virtud de las disposiciones del Convenio de París.

Excepcionalmente en caso de requerir medidas urgentes, el *Procureur de la Republique* o *Juge d'Instruction* competentes en el lugar en que se ha producido el accidente podrán intervenir. Sus actas deberán ser transmitidas al *Tribunal de Grande Instance de París*.

[797] Numeral introducido por la Enmienda de 2004 al Convenio de París.
[798] *Ibídem* Parte relativa a los regímenes de responsabilidad civil.

La victima puede demandar a discreción:

- el explotador responsable,
- su asegurador
- toda otra persona que haya otorgado garantía financiera

El artículo 8 de la Ley señala que en caso en que la víctimas no pudiesen obtener reparación por parte del explotador, asegurador u otro garante a quien le corresponda, el Estado francés se hará cargo de esta indemnización de manera subsidiaria que en origen le correspondía al explotador.

Independientemente de la naturaleza de los fondos de indemnización intervinientes, la víctima sólo demanda una vez[799]. En efecto, si al demandar, los fondos correspondientes al explotador y su asegurador se han agotado, la víctima no requerirá demandar al Estado para acceder a los fondos otorgados por este en la segunda capa[800].

En principio, las indemnizaciones son repartidas por orden de llegada de las víctimas, sin discriminar entre la naturaleza de los daños.

De manera excepcional, el artículo 13 de la ley N°68-943 dispone que en caso en que los fondos dispuestos por la ley[801] sean insuficientes para indemnizar la totalidad de los daños, el Consejo de Ministro deberá dictar un decreto en el que constate esta situación y fije las modalidades de indemnización.

La regla en este caso, es que los fondos serán repartidos de la manera siguiente:

- Los daños corporales serán indemnizados de manera prioritaria.

[799] Artículo 17 *in fine*.
[800] Esta regla es eliminada por la versión de la Ley que entrará en vigor con el Protocolo de Enmienda del 2004.
[801] Entendemos que son tanto los fondos correspondiente al explotador y su asegurador (la primera capa) como los fondos otorgados por el Estado de manera subsidiaria o suplementaria (la segunda capa)

- Dentro de los daños corporales tendrán a su vez prioridad ciertos daños según modalidades que serán determinadas en analogía a la legislación de los accidentes del trabajo[802].

- Si quedaren fondos, estos serán repartidos entre las víctimas proporcionalmente al daño corporal y a los daños materiales, según las reglas de derecho común.

2.2.2. Seguros Privados en Estados Unidos

Examinaremos en esta sección el marco normativo vigente **(2.2.2.1.);** La obligación de contar con un seguro **(2.2.2.2.);** El concepto de daño, riesgos cubiertos y noción de siniestros **(2.2.2.3.);** y, el ejercicio de la acción indemnizatoria **(2.2.2.4.).**

2.2.2.1. Marco Normativo

En Estados Unidos, el Gobierno Federal ha sido quien ha asumido, casi en su totalidad, la responsabilidad de regular la energía nuclear. En consecuencia, la normativa que regula las instalaciones nucleares se encuentra contenida en estatutos federales y en disposiciones administrativas emanadas de la entidad encargada de velar por el cumplimiento de las disposiciones vigentes en esta materia, la Comisión Reguladora Nuclear. La pieza central de la legislación nuclear en EE.UU. es la Ley de Energía Atómica de 1954, un estatuto federal que regula la tenencia y el uso de material radioactivo y las instalaciones que producen o utilizan dicho material.

La Comisión Reguladora Nuclear o *Nuclear Regulatory Commission*, en adelante NRC, es la agencia federal responsable de regular el uso de material radioactivo para fines civiles. Dentro de sus atribuciones, esta entidad es la responsable de otorgar las licencias para la construcción y explotación de las plantas nucleares en todo el territorio de los EE.UU. Por lo mismo, previo a que cualquier persona, natural o jurídica, pueda operar dentro de la industria nuclear es necesario que presente una solicitud de licencia ante la NRC.

Ahora bien, cada Estado tiene libertad para regular aquellas actividades nucleares no abordadas por el gobierno federal, siempre que la normativa estatal no entre en conflicto con la Ley Federal, la cual prima por sobre las leyes estatales particulares.

En algunas áreas que no han sido prioritarias para el gobierno federal, pueden existir normas tanto estatales como federales; los estados pueden adoptar estándares más estrictos que los estándares federales que rigen a las mismas instalaciones.

[802] Las tablas de accidentes del trabajo respecto a enfermedades profesionales debidas a exposición a rayos ionizantes: http://bit.ly/bWkcBS y http://bit.ly/cfU1qx

A veces, los estados acuerdan asumir control sobre una actividad que normalmente estaría regulada por el gobierno federal. La sección 274 de la Ley de Energía Atómica, faculta a los Estados para celebrar acuerdos con la NRC para regular el uso del material radioactivo dentro de su Estado, y en cuyo caso la NRC, por consiguiente, suspende y traslada su autoridad reguladora sobre el Estado contratante. Sin embargo, el programa del Estado contratante debe ser compatible con los estándares de la NRC y con la normativa federal aplicable. Actualmente 34 Estados participan en el Programa de Acuerdos Estatales de la NRC.

Específicamente, en materia de responsabilidad civil y compensación económica por accidentes nucleares, la legislación federal que rige la materia es la Ley Price-Anderson, del año 1957, y que forma parte de la Ley de Energía Atómica[803].

Esta normativa rige para todo incidente nuclear resultante de las actividades desarrolladas por los licenciados de la NRC y por los contratistas del Departamento de Energía de EE.UU., estableciendo como condición necesaria para la obtención de una licencia de construcción u explotación de una planta nuclear que el licenciado tenga y mantenga protección financiera suficiente del tipo y por los montos que la NRC establezca, a fin de cubrir demandas por responsabilidad pública derivada de accidentes nucleares.

2.2.2.2. La obligación de contar con un seguro

La Ley Price-Anderson, dentro de sus principales objetivos, persigue asegurar una compensación económica oportuna y ordenada a aquellos miembros de la comunidad afectados por incidentes nucleares, sin importar quien, en definitiva, resulte responsable. La Ley provee de una cobertura general, *public liability* o responsabilidad publica, entendiendo que la misma protección disponible para un licenciado se extiende a todo aquel que pueda ser legalmente responsable. La Ley impone una canalización económica, a diferencia de la canalización legal, de la responsabilidad hacia el operador de la instalación nuclear y consecuencialmente hacia la protección financiera que el operador mantiene[804]. Así visto, como resultado de esta normativa, cualquiera que pueda resultar responsable por el daño de un accidente nuclear, por ejemplo, un proveedor, se puede beneficiar de la cobertura del seguro de responsabilidad mantenido por el operador de la planta[805].

---

803 Titulo 42, sección 2011 y siguientes del US Code. http://www.law.cornell.edu/uscode/

804 American Nuclear Insurers, *Need for Nuclear Liability Insurance,* Mayo 2009. y Shapar Howard, *Nuclear Indemnity Legislation in the United States*.

805 La canalización económica significa que si bien el peso económico de la responsabilidad recae sólo en una persona, igualmente pueden resultar legalmente responsables personas distintas a aquellas sobre las cuales recae la responsabilidad económica.

A este respecto, la Ley Price-Anderson obliga a mantener dos tipos de protección financiera, entendiendo estas por seguros obligatorios de responsabilidad: 1) Protección Financiera Primaria o Seguro primario, el cual debe ser tomado por el monto máximo vigente disponible de privados (Actualmente por US$300 millones); y, 2) Protección Financiera Secundaria o Seguro secundario basado en "*restrospective premiums*" o "primas retroactivas", para cubrir daños que excedan el monto del seguro primario.

Lo interesante en esta materia es que ambos seguros son absolutamente privados provistos por aseguradoras del ámbito privado o en el caso de la protección financiera secundaria, si bien también el seguro esta provisto por aseguradoras privadas, son los mismos asegurados quienes contribuyen al pago de los daños que excedan la cobertura de la protección financiera primaria, como veremos más adelante.

2.2.2.2.1. Distinción entre seguros del explotador y del transportador

Atendida la cobertura general respecto de la responsabilidad civil producto de accidentes nucleares y que se encuentra económicamente canalizada en el operador de la instalación, de acuerdo a la legislación federal vigente, es que no existe mayor distinción entre seguros del explotador y del transportador, por cuanto la cobertura de los seguros existentes actualmente incluyen el transporte desde y hacia la instalación nuclear respectiva.

A pesar de ello, el mercado de seguros dispone de seguros complementarios que pueden contratar los transportistas para asegurar la responsabilidad civil por daños ocasionados por el material radioactivo transportado, sólo en cuanto cubren el excedente no cubierto con los montos derivados de los seguros obligatorios que debe mantener cada operador o licenciado de una instalación nuclear.

En la actualidad, los licenciados obtienen ambas protecciones financieras a través de la American Nuclear Insurers, en adelante ANI (Consorcio de Aseguradoras encargado de redactar las pólizas de seguros por responsabilidad para las instalaciones nucleares dentro de los EE.UU.).

2.2.2.2.2. Protección Financiera Primaria

Tal como se señaló previamente la Ley Price-Anderson establece como exigencia que el monto a cubrir por la protección financiera primaria debe ser aquel monto máximo vigente en el ámbito privado. Actualmente la ANI, esta asegurando a las instalaciones nucleares por un monto máximo de $300 millones de dólares. Tomando en cuenta que los montos máximos de cobertura ofrecida por la ANI van variando de tiempo en tiempo, las pólizas de seguros deben ir reflejando estas variaciones para adecuarse a

los montos de cobertura máximos ofrecidos. El seguro ofrecido actualmente por la ANI y que cumple con el objetivo de ofrecer protección financiera primaria, de acuerdo a los términos de la Ley Price-Anderson, es la denominada *Facility Form Policy*.

A fin de asegurar la cobertura general ya indicada con anterioridad en este capitulo, es que la definición de "asegurado" contenida en la *Facility Form Policy* es bastante amplia, e incluye:

- El nombre del Asegurado (usualmente el operador de la instalación) y,

- Cualquier otra persona u organización en relación a la responsabilidad por daños que le pueda caber por daño físico, daño a la propiedad o daño medioambiental causado por "riesgo o peligro por energía nuclear"[806].

Igualmente, la póliza señalada contempla una cláusula por la cual automáticamente el transportista se encuentra asegurado por la carga de material nuclear de fuente primaria, material nuclear especial, combustible utilizado o desechos de material nuclear transportados desde y hacia la instalación de energía nuclear. El material nuclear de fuente secundaria o sub-productos no se incluye[807].

Para efectos de garantizar que los operadores de las instalaciones mantengan este seguro vigente, los operadores deben suscribir un acuerdo con la NRC que los obliga a mantener dicho seguro mientras se encuentre vigente la licencia otorgada, asimismo, y a fin de fiscalizar que los seguros de los licenciados u operadores se encuentren vigentes, la ANI es la encargada de enviar año a año a la NRC, la información y documentación de los seguros contratados por sus asegurados, una vez que estos hayan pagado las primas correspondientes.

2.2.2.2.3. Protección Financiera Secundaria

Como se señaló previamente, la protección financiera secundaria se basa en el pago de primas retroactivas (*Retrospective Premiums*). Para estos efectos, la ANI celebra acuerdos contractuales con cada licenciado a fin de cobrar las primas retroactivas si fuesen necesarias. Por tanto en el evento de que los daños producidos por un incidente nuclear excedan de US$300 millones, el excedente será recolectado de cada licenciado de plantas de energía nuclear con un máximo de US$15 millones por año y hasta máximo US$95.8 millones por incidente para cada planta nuclear.

[806] American Nuclear Insurers, *Need for Nuclear Liability Insurance*, Mayo 2009.
[807] *Ibidem*

En estricto rigor, la protección financiera secundaria incumbe a todos aquellos operadores que mantengan seguros primarios vigentes con la ANI, responsabilidad colectiva, por cuanto el sistema opera de tal manera que cada licenciado aporta, en el evento de ser necesario, una suma determinada a prorrata de las instalaciones que mantenga asegurada con la ANI. Este tipo de protección financiera, en resumidas cuentas, es un llamado a los operadores para responder luego de producido un accidente nuclear y sólo en el evento de que el monto a indemnizar supere el limite de US$ 300 millones que rige a la protección financiera primaria.

Una copia certificada de este acuerdo suscrito entre la ANI y el operador, llamado "garantía para el pago de primas retroactivas"[808], debe ser suministrada a la NRC como prueba del seguro secundario. Este contrato obliga al licenciado a pagar el *retrospective premium* a la ANI.

2.2.2.3. El concepto de daño, riesgos cubiertos y noción de siniestros

Conforme la legislación federal vigente, las protecciones financieras que deben mantener los licenciados deben ser suficientes para cubrir demandas por *public liability.*

La normativa entiende por public liability "*toda responsabilidad legal producto de o como consecuencia de un incidente nuclear o evacuación precautoria…*"[809].

En razón de ello, la noción de riesgo cubierto y siniestro esta íntimamente ligado al concepto de incidente nuclear contenido en la normativa vigente como al de evacuación precautoria. A este respecto, la Ley Price-Anderson define incidente nuclear como "*cualquier evento, incluyendo un evento nuclear extraordinario, dentro de los Estados Unidos que cause, bien sea dentro o fuera de los Estados Unidos, daño físico corporal, enfermedad o muerte, o perdida o daño a la propiedad, o perdida en el uso de una propiedad, causado o como resultado de las propiedades radioactivas, toxicas,*

[808] Bond for Payments of Retrospective Premiums.
[809] The term "public liability" means any legal liability arising out of or resulting from a nuclear incident or precautionary evacuation (including all reasonable additional costs incurred by a State, or a political subdivision of a State, in the course of responding to a nuclear incident or a precautionary evacuation), except: (i) claims under State or Federal workmen's compensation acts of employees of persons indemnified who are employed at the site of and in connection with the activity where the nuclear incident occurs; (ii) claims arising out of an act of war; and (iii) whenever used in subsections (a), (c), and (k) of section 2210 of this title, claims for loss of, or damage to, or loss of use of property which is located at the site of and used in connection with the licensed activity where the nuclear incident occurs. "Public liability" also includes damage to property of persons indemnified: Provided that such property is covered under the terms of the financial protection required, except property which is located at the site of and used in connection with the activity where the nuclear incident occurs.

explosivas, u otras provenientes de materiales nucleares de origen primario, subproductos o especiales."[810]

A su vez, evento nuclear extraordinario es, esencialmente, un evento que causa, fuera del área afectada, una descarga significativa de material nuclear o un aumento significativo en los niveles de radiación y respecto del cual el Gobierno Federal (a través de la NRC o DOE) determine que ha habido, o habrá, daño sustancial a las personas o a la propiedad.

El concepto de "*evento nuclear extraordinario*", fue introducido en una modificación hecha en 1966, con la finalidad de reforzar la protección al público al eliminar, en determinadas circunstancias, ciertas defensas legales que normalmente estarían disponibles bajo la legislación estatal relativa a la responsabilidad civil extracontractual. [811] Estas defensas excluidas dicen relación con: defensas basadas en la conducta del reclamante o el actuar culposo o doloso de quien sea responsable; defensa en base a inmunidad gubernamental; y defensas basadas en los plazos de prescripción establecidos en cada legislación estatal, siempre que la demanda se presente dentro del plazo de tres años contados desde la fecha en que el reclamante tomo conocimiento, o razonablemente debió tomar conocimiento, de los daños y su causa.

Así establecido, la cobertura de la protección financiera primaria y secundaria proporcionada por la ANI a través de *Facility Form Policy*, se limita estrictamente a la responsabilidad por daños a las personas, daños a la propiedad de terceros (en oposición a la propiedad del operador ubicada en la instalación misma) y al daño medioambiental, todos daños como consecuencia de material nuclear contenido en la planta nuclear en sí como, también, mientras ese material se encuentre en transito desde y hacia la instalación respectiva. Como se señaló anteriormente, es aquí donde se entiende cubierto el transporte del material nuclear.

Se excluye de la cobertura de estos seguros: a) Aquellas indemnizaciones cubiertas por los seguros obligatorios de responsabilidad del empleador y compensación a trabajadores que debe mantener todo propietario de una industria.[812]; b) Los daños a

[810] The term "nuclear incident" means any occurrence, including an extraordinary nuclear occurrence, within the United States causing, within or outside the United States, bodily injury, sickness, disease, or death, or loss of or damage to property, or loss of use of property, arising out of or resulting from the radioactive, toxic, explosive, or other hazardous properties of source, special nuclear, or byproduct material.

[811] Nuclear Legislation in OECD Countries, *Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*, United States.

[812] Este seguro es el equivalente al Seguro por Accidentes de Trabajo, el cual es obligatorio mantener en muchos estados de EE.UU. Se trata de dos seguros, Seguro de Compensación a los Trabajadores (Worker´s Compensation Insurance) que cubre todos los gastos por daños físicos producto de

la propiedad ubicada en las instalaciones mismas.[813] Esto es absolutamente consistente con lo establecido en la Ley Price-Anderson al definir el concepto de *Public Liability* o responsabilidad publica, por cuanto se excluye de dicha responsabilidad: "*(i) Demandas por daños presentadas por los trabajadores, del lugar y relacionadas con la actividad, donde el incidente nuclear acontece, al amparo de la leyes estatales o federales de compensación de trabajadores; (ii) Demandas por daños como consecuencia de actos de guerra; y, (iii) daños causados a la propiedad ubicada en el lugar de y utilizada en directa relación con la actividad donde el incidente nuclear acontece.*"[814]

2.2.2.4. Ejercicio de la acción indemnizatoria

La Ley Price-Anderson establece la consolidación de todas las demandas contra los licenciados o contratistas en una corte federal. La competencia para conocer de las acciones legales sobre responsabilidad pública, que puedan surgir de o como resultado de un incidente nuclear, radica en las Cortes de Distrito[815] de los EE.UU. correspondiente al lugar donde aconteció el incidente nuclear, independiente de la nacionalidad de las partes o el monto de la controversia. Atendido lo anterior se critica que dada la jurisdicción federal, la ley restringe la posibilidad del demandante de utilizar cualquier ley estatal que vaya por sobre y más allá de las protecciones federales.

Conforme lo señalado anteriormente, el plazo establecido por la Ley Price-Anderson para interponer la demanda respectiva es de tres años contados desde que el demandante tomo conocimiento, o debió tomar conocimiento, de los daños y sus causas.

2.2.3. Seguros Privados en Japón

Examinaremos en esta sección: La normativa vigente **(2.2.3.1.);** La obligación de contar con un seguro **(2.2.3.2.);** El concepto de daño, riesgos cubiertos y noción de siniestros **(2.2.3.3.);** y, el ejercicio de la acción indemnizatoria **(2.2.3.4.).**

---

accidentes o enfermedades producidas en razón del trabajo ejercido y que sufra el trabajador. En cuanto al Seguro de Responsabilidad del Empleador (Employer´s Liability Insurance), este cubre a las empresas contra las demandas que pueden presentarse productos de los accidentes o enfermedades a que hace referencia el seguro señalado anteriormente.

[813] http://www.amnucins.com/library/AniBrochure03.pdf

[814] Sección 2.014, titulo 42 del US Code.

[815] Tribunales de primera instancia del sistema de Tribunales Federales en http://bit.ly/vPila

2.2.3.1. Normativa vigente

Esta materia se encuentra regulada en la Ley de Compensación, estableciendo la cobertura de los seguros tanto para la operación misma de la instalación como para el transporte de los materiales, salvo en cuanto exista un acuerdo especial entre los operadores.

La Ley de Compensación por Daños Nucleares vigente en Japón establece un régimen de responsabilidad estricta, exclusiva e ilimitada del operador de una instalación nuclear.

2.2.3.2. La obligación de contar con un seguro

Para efectos de asegurar la compensación económica a las victimas de accidentes nucleares, esta normativa establece la obligatoriedad, para el operador, de contar con una seguridad financiera para compensar dichos daños. A este respecto, señala la sección 7 de la Ley que para asegurar la compensación señalada, el operador debe contar con un contrato de seguro de responsabilidad, cuya cobertura sea de 60 billones de Yenes por instalación nuclear. En abril de este año se modificó esta Ley, modificación que comenzara a regir el 1° de enero de 2010, por la cual la cobertura por daños nucleares que deben mantener los operadores se duplica a 120 billones de Yenes. Asimismo esta modificación establece penalidades bastante elevadas para aquellas instalaciones que operen sin el seguro antes señalado, penalidades que pueden ir desde 500.000 hasta 1 millones de Yenes.

Al respecto, la Ley de compensación establece una definición amplia de "operación de un reactor", incluyendo dentro de este concepto el transporte de los materiales nucleares[816]. La sección 3 de la Ley hace responsable del transporte del material nuclear desde un operador a otro, a aquel operador que remite los materiales, salvo que exista un acuerdo especial entre los operadores por el cual se invierta esta responsabilidad pasando al receptor de los materiales.

Ahora bien, la normativa vigente, adicionalmente, contempla la posibilidad para el operador de suscribir un acuerdo con el Gobierno, a fin de que este último pueda indemnizar al operador por las perdidas sufridas con razón de las compensaciones por daños nucleares no cubiertas por el seguro obligatorio indicado anteriormente, a cambio de un honorario anual pagado al Gobierno[817].

Asimismo, la sección 16 de la misma Ley establece que el Gobierno podrá proporcionar ayuda financiera a los operadores por los montos que deban pagar por

[816] Articulo 2 de la Ley de Compensación por Daños Nucleares de Japón.
[817] Sección 10 y siguientes de la Ley de Compensación por daños nucleares de Japón.

compensación y que excedan de los montos cubiertos por los seguros contratados. En este caso, el Gobierno tiene esta facultad, previa autorización del Parlamento.

Por otra parte la sección 7-2 de la Ley regula el caso en el cual una nave o buque nuclear Japonesa desee ingresar en aguas extranjeras (territorio marítimo de otro estado) y en sentido contrario, si una nave o buque nuclear extranjero quiera ingresar en territorio marítimo Japonés. En ambos casos, la cobertura por daños nucleares que debe mantener el operador nuclear, tanto nacional como extranjero, será por los montos que acuerden el Gobierno Japonés con el Gobierno del país extranjero involucrado, para cuyos efectos suscribirán un acuerdo, que deberá ser gestionado por el operador nuclear de la nave responsable de compensar los daños nucleares.

2.2.3.3. El concepto de daño, riesgos Cubiertos y Noción de Siniestro

Como se señala, la protección financiera solicitada a los operadores tiene como objetivo cubrir la compensación por los daños nucleares producidos, entendiendo esta misma ley por daños nucleares "*todo daño producido por los efectos de el proceso de fisión de material nuclear combustible, por los efectos de radiación de material nuclear combustible o material contaminado por material nuclear combustible o debido a la naturaleza toxica de tales materiales…*"[818].

Se excluye de esta compensación los daños producido por un desastre natural extraordinariamente grave o insurrección, de conformidad con a la sección 3 de la Ley. Asimismo se excluye de esta compensación, los daños producidos a los trabajadores en el ejercicio de sus labores.

Como se desprende de la definición contenida en la Ley de Compensación, no sólo se establece una compensación en caso de daño nuclear producto de un accidente nuclear sino también producto de la operación misma del reactor o instalación. La Ley establece la indemnización por cualquier daño causado por lo efectos de un proceso de fisión de material nuclear combustible, por los efectos de la radiación de material nuclear combustible, etc. o por los efectos de la naturaleza toxica de dichos materiales (lo que significa los efectos provocados a causa de la toxicidad o efectos secundarios al cuerpo humano por la ingesta o inhalación de tal material).

Atendida esta norma, podemos observar que el daño a que se hace referencia contempla la perdida de la vida o daño físico corporal (incluyendo daños a posteriori producto de la radiación) y la pérdida o daño a la propiedad como causa de un desastre nuclear, etc.

[818] "…any damage caused by the effects of the fission process of nuclear fuel material, by the effects of radiation from nuclear fuel material or material contaminated by nuclear fuel material or due to the toxic nature of such materials…"

En cuanto a los daños a los cuales se extiende la indemnización, la Ley no establece el rango exacto del daño a ser compensado. Sin embargo, de acuerdo al derecho común aplicable en Japón, el rango de los daños provocados por un incidente nuclear debe estar dentro de lo que denominan lo límites de "causa razonable y probable". Este concepto es un precedente judicial como, asimismo, la teoría aceptada dentro del Código Civil Japonés, el cual establece los requisitos generales y efectos de los actos ilegales.[819]

2.2.3.4. Ejercicio de la Acción Indemnizatoria

La jurisdicción competente para conocer de las demandas indemnizatorias por daños nucleares se encuentra entregada a las normas del derecho común vigentes relativas a la litigación civil.

Asimismo, el plazo de prescripción para ejercer la acción, se entrega al derecho común, estableciendo el plazo máximo para interponer la demanda de 3 años contados desde que la victima haya tomado conocimiento tanto de los daños sufridos como de la identidad de la persona responsable por tales daños. Igualmente la normativa general, establece que el derecho a indemnización prescribe completamente en el plazo de 20 años desde la fecha en que se genere la responsabilidad.[820]

Finalmente, la Ley de Compensación Japonesa establece la posibilidad que el Gobierno cree un Comité de Conciliación de Disputas provenientes de compensaciones por daños nucleares, a cargo de la Agencia de Ciencia y Tecnología. El objetivo de dicho Comité sería actuar como mediador en las disputas generadas por el pago de Compensaciones y llevar a cabo investigaciones sobre el daño nuclear producido, a efectos de resolver las disputas sometidas a su conocimiento.

2.3 Legislación chilena en materia de seguros privados

Para efectos metodológicos, y dada también la relativa cercanía del estatuto nacional de los seguros privados con los instrumentos internacionales descritos y los sistemas comparados, esta sección se dividirá en dos subcapítulos: **(2.3.1.)** Normativa vigente; y, **(2.3.2.)** Noción y régimen del seguro de responsabilidad civil nuclear.

[819] Lizuka, Hirotoshi. "Concerning improvement and reform towards a more effective and realizable nuclear liability legal system in Japan". International Journal of Nuclear Law. Volumen 1, Nº 3, 2006. http://www.inderscience.com/storage/f516487111210239.pdf
[820] Código Civil Japonés, Sección 724.

2.3.1. Normativa vigente

La normativa vigente en la materia en Chile es parcelaria y se encuentra dispersa. En efecto, la normativa en materia de seguros privados de responsabilidad nuclear, actualmente vigente, puede clasificarse en derecho especial y derecho de aplicación supletoria.

2.3.1.1. Derecho especial vigente

En cuanto al **derecho especial vigente**, varias fuentes se refieren a diversos aspectos de los seguros privados de responsabilidad nuclear:

- La *Convención de Viena acerca de la responsabilidad civil en materia de daños nucleares* (1963), promulgada en Chile por Decreto N°18 del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado el 8 de marzo de 1990. No obstante, debe reiterarse que la versión de la Convención de Viena adoptada por la legislación chilena corresponde a aquella anterior a la enmienda de 1997. En efecto, el *Protocolo de enmienda de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares*, de 29 de septiembre de 1997, entró en vigor el 4 de octubre 2003 y no ha sido ratificado por Chile. Como se mencionó en la sección relativa a los convenios internacionales, los cambios introducidos por este instrumento son de dos órdenes. Por una parte, atañen a los montos mínimos de responsabilidad de los explotadores que son sensiblemente más altos (cuestión que impacta en la cobertura de los seguros privados). Por otra parte, la enmienda precisó y desarrolló definiciones de conceptos cruciales para el régimen de responsabilidad civil nuclear, como el daño y el accidente nuclear (que también influyen en el estatuto de los seguros privados). Las modificaciones de esta enmienda son también comentadas en esa sección.

- El *Protocolo Común acerca de la Aplicación del Convenio de París y de la Convención de Viena* (1988), fue promulgado en Chile por Decreto N°1.212 del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado el 3 de enero de 1994.

- La Ley de Seguridad Nuclear contiene algunas disposiciones aisladas que se refieren a los seguros, y que son las siguientes:
    - En primer lugar, establece el carácter **obligatorio** de la contratación de un seguro de responsabilidad por parte del explotador. Se trata, en consecuencia, de una de las contadas hipótesis en que la legislación nacional establece un contrato forzoso: "*Todo explotador deberá caucionar su responsabilidad mediante la contratación de seguros o la constitución de garantías, por el límite máximo establecido en el artículo 60. … Sólo una vez que acredite el cumplimiento de las exigencias de este*

artículo, podrá obtener la autorización que lo habilite para la puesta en operación de la instalación nuclear" (art. 62).

- En segundo lugar, somete a la **aprobación previa** de la Comisión Chilena de Energía Nuclear las condiciones del seguro (póliza) y la compañía aseguradora: *"El explotador deberá someter a la aprobación previa de la Comisión las condiciones del seguro y la entidad aseguradora, o de las garantías, en su caso…"* (art. 62 inc. 2°). El artículo 63 agrega: "*Sin perjuicio de las atribuciones de la Superintendencia de Valores y Seguros, las empresas aseguradoras, para poder operar en las materias de que trata este título, someterán a la aprobación de la Comisión los modelos de pólizas y demás condiciones de sus operaciones, tales como reaseguros y coseguros. Igual procedimiento se aplicará en el caso de que el límite de responsabilidad se cubra por medio de garantías financieras*".
- En tercer lugar, en la Ley de Seguridad Nuclear se contiene una **regla de publicidad** del seguro contratado, que obliga al explotador a comunicar por escrito al transportista la existencia y vigencia del seguro: "*Para el transporte de sustancias nucleares o materiales radiactivos, el explotador responsable entregará al transportista un certificado del asegurador o de la entidad que haya concedido la garantía, que acredite la vigencia del seguro o garantía*" (art. 64).

Más allá de estas reglas, no existe una regulación sistemática que trate el alcance de la garantía contenida en este tipo de seguro, ni cómo se efectúa su ejercicio. En ausencia de tales reglas, es necesario, en consecuencia, recurrir a las reglas generales sobre el seguro de responsabilidad civil de la legislación y práctica nacional, que se aplican supletoriamente a la materia.

2.3.1.2. Derecho de aplicación supletoria

En lo que respecta a este **derecho de aplicación supletoria**, diversas disposiciones jurídicas le son aplicables:

- La normas del Código Civil sobre los contratos en general (arts. 1437 y s.).

- En lo que se encuentre de acuerdo con su naturaleza, la regulación contenida en el Código de Comercio para el contrato de seguro que se refiere esencialmente al seguro de cosas. Este Código contiene, por lo demás, algunas normas sobre dos seguros de responsabilidad especiales en materia de incendio y marítimos.

- Asimismo, algunas disposiciones del DFL N°251 de 1931, que regula las compañías de seguro, les resultan aplicables.

- La ley N°19.496 de *protección de los derechos de los consumidores* resulta también aplicable a los contratos de seguro de responsabilidad; en particular, las normas de redacción de contratos por adhesión (escrituración, legibilidad y tamaño de la letra, idioma castellano y entrega de copia) y de control de cláusulas abusivas.

- Las normas de carácter general, las circulares y los oficios de la Superintendencia de Valores y Seguros, tales como aquellas que establecen las normas de registro de pólizas de seguros o las que aprueban algunas pólizas particulares de responsabilidad civil.

- Así también, encontramos los precedentes judiciales en materia de seguros. Estos son escasos porque es frecuente que luego de la liquidación de los siniestros se lleguen a transacciones sobre la indemnización entre las partes del contrato de seguro y las víctimas, y porque los conflictos que oponen asegurador y asegurado se sujetan por regla general a la decisión de árbitros arbitradores, cuyas decisiones por lo demás tienen una publicidad muy limitada. Como se entiende, las partes del contrato y la víctima tienen enormes incentivos para llegar a la transacción y evitar la tramitación del juicio de responsabilidad.

Algunas de las normas legales mencionadas, previstas para los seguros, tienen carácter dispositivas y otras imperativas. En lo que no resulta contrario a su naturaleza, se aplican a todo contrato de seguro de responsabilidad civil y también a aquellos seguros de responsabilidad (obligatorios o voluntarios) que cuentan con un estatuto o con normas especialmente aplicables, como es el caso de los seguros de responsabilidad nuclear (en lo no resuelto por estos estatutos).

Sin embargo, el estudio de las normas indicadas no sería suficiente para dar una idea adecuada del estado de esta cuestión en el derecho nacional. En efecto, poco nos dicen estas disposiciones acerca de la extensión de la garantía contenida en la póliza y de su forma de ejercicio, que son sin duda cuestiones relevantes desde el punto de vista de los seguros privados.

Por ello, resulta imprescindible revisar las principales disposiciones de *pólizas de seguro de responsabilidad civil,* que contienen en el derecho nacional la esencia de la regulación de estos seguros y que deben interpretarse, naturalmente, a la luz de las disposiciones del ordenamiento civil y comercial mencionadas.

Las pólizas son formularios que contienen las *condiciones generales de contratación* que redactan las compañías por tipos contractuales y que se aplican al conjunto de contratos que planean celebrar sobre la materia.

Estas pólizas, que constituyen una oferta de contrato por adhesión, se completan por *condiciones particulares* que se negocian con cada asegurado (monto de la indemnización y de la prima, duración, extensiones de la cobertura, etc.).

Las condiciones generales de las pólizas se encuentran sujetas a reglas de control y registro que les otorgan publicidad. En efecto, las entidades aseguradoras deben registrar las pólizas o cláusulas (adicionales o de uso general) en el *Depósito de Pólizas* de la Superintendencia de Valores y Seguros, que se encuentra abierto al público[821].

Además, en la materia debe tenerse en cuenta lo dicho a propósito de la aprobación previa de las pólizas de seguros de responsabilidad nuclear por la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

La mencionada Superintendencia puede prohibir la utilización de un modelo de póliza o de cláusulas cuando a su juicio no cumplan con las exigencias de claridad en la redacción y de respeto de otros imperativos legales[822].

Una vez registradas, las pólizas y cláusulas pueden ser utilizadas por todas las compañías que puedan ofrecerlas al público[823].

No obstante, y es relevante para los efectos de la industria nuclear, hay una proporción importante de pólizas que no se encuentran sujetas a esta obligación de registro y publicidad, particularmente en el caso en que las primas anuales exceden un determinado monto y siempre que el beneficiario y asegurado sean personas jurídicas[824].

---

[821] A partir del sexto día de su depósito, las compañías aseguradoras pueden contratar sobre la base de esos modelos (art. 3 letra e, del DFL n°251, 22.5.1931, según la redacción efectuada por la ley n°19.769).

[822] Las compañías de seguros tienen la obligación legal de redactar en forma clara y entendible estas pólizas, evitando cualquier inducción a error e insertar cláusulas que se opongan a la ley (art. 3° letra e del DFL n°251, 22.5.1931), según la redacción efectuada por la ley n°19.769.

[823] La Norma de Carácter General n°124 (22.11.2001), de la Superintendencia de Valores y Seguros, contiene las normas vigentes sobre el registro de pólizas en el Depósito. En ella define los documentos contractuales que pueden registrarse y les otorga una nomenclatura: *pólizas* (POL); *cláusulas adicionales*, que permiten ampliar las coberturas de las condiciones generales (CAD); y *cláusulas de uso general* a toda póliza (CUG). Esta disposición no reconoce, como lo hacía su antecesora (circular n°1338, 7.8.1997), a las denominadas *cláusulas alternativas*, que eran utilizadas para ofrecer una cobertura sustitutiva de alguna de las contenidas en la póliza registrada (CAL).

[824] No se encuentran sujetas a la obligación de registro de pólizas cuando se trate de compañías de seguros del primer grupo (riesgo de pérdida o deterioro en las cosas o en el patrimonio) en el caso de

Esta última excepción conduce a que una parte importante del mercado de los seguros (particularmente en actividades económicas de riesgo elevado) se sujete a condiciones pactadas con el asegurado o incluso a modelo de pólizas extranjeras[825].

Para efectos de orden, la legislación especial y la legislación común se revisan de la siguiente forma:

- La Convención de Viena y el Protocolo Común, mencionados en las letras a) y b) del número (i) anterior, se examinaron en el en la sección de Tratados Internacionales. Sin embargo, al revisar los vacíos y contradicciones, se efectuarán nuevas referencias a esos instrumentos con el doble propósito de, por una parte, hacer presente sus simetrías y asimetrías con el derecho interno y, por otra parte, poner en evidencia las diferencias entre los instrumentos actualmente vigentes en el derecho internacional y aquellos ratificados por Chile en el pasado.

- La Ley de Seguridad Nuclear, mencionada en la letra c) del número (i) anterior, en aquello relativo a los seguros privados, será examinada en detalle en los párrafos siguientes.

- Asimismo, el derecho común aplicable a la materia, mencionado en el número (ii) anterior, serán analizados en los párrafos siguientes, en aquello que resulte aplicable a los seguros privados de responsabilidad civil nuclear.

2.3.2. Noción y régimen del seguro de responsabilidad civil nuclear

En materia de regulación el seguro de responsabilidad civil nuclear se enfrenta a un doble inconveniente.

El primero, atiende a que la legislación especial (Ley de Seguridad Nuclear) contiene muy pocas e incompletas disposiciones sobre el mismo.

---

seguros de transporte y de casco marítimo y aéreo, y tratándose de los contratos de seguro en los que el asegurado y el beneficiario sean personas jurídicas y el monto anual de la prima no sea inferior a 200 unidades de fomento (art. 3 letra e, del DFL n°251, 22.5.1931, según la redacción efectuada por la ley n°19.769; Norma de Carácter General n°124, 22.11.2001).

825 En tal sentido, la Superintendencia de Valores y Seguros admite la suscripción de pólizas en idioma extranjero, siempre que se efectué una traducción al español y se firme por las partes (Norma de Carácter General n°124, 22.11.2001). Por lo demás, esta autorización también se encuentra contenida en la ley de protección de los derechos de los consumidores (art. 17 ley n°19.496).

El segundo, se refiere a que ni siquiera la legislación común, que ya fue descrita, contiene un estatuto para el seguro de responsabilidad civil en general. Es decir, no existe una normativa para esta clase de seguro, cuestión que no se ha podido resolver en Chile a pesar de los continuos intentos en la materia.

Por eso, para entender la regulación del seguro de responsabilidad civil, conviene examinar la evolución de estas materias en el derecho nacional.

(i) El seguro de responsabilidad civil es un contrato por el cual el asegurador se obliga, en contrapartida del pago de una *prima,* a indemnizar a terceros víctimas de la acción del asegurado.

El seguro es, ante todo, un contrato sujeto a las reglas previstas para los actos jurídicos en el Código Civil y para este tipo particular de convención en el Código de Comercio.

En la actualidad, el seguro es también objeto de una actividad económica relevante, que somete a reglas especiales de constitución y funcionamiento a las sociedades que la ejecutan.

(ii) Desde el siglo XIX el seguro de responsabilidad civil por daños a terceros se ha desarrollado notablemente como una forma de proteger el patrimonio del asegurado –distribuyendo el costo de la reparación- y como un mecanismo de garantía de la indemnización de la víctima.

Esta evolución ha sido consistente con la expansión de los tipos de daños reparables y la progresiva objetivación de las condiciones de la responsabilidad civil, cuya prueba más palmaria es lo expuesto a propósito de la responsabilidad civil nuclear en este informe.

(iii) Se suele explicar las relaciones entre responsabilidad y el seguro como un doble movimiento de influencia recíproca.

Por una parte, en razón de que los daños reparables se han multiplicado[826], surge la necesidad de distribuir y garantizar el costo de la indemnización de esos perjuicios mediante el seguro. Por otra parte, en atención a que frente a un agente asegurado los jueces tienen menos dudas para condenar a la reparación, las condiciones de la responsabilidad tienen a relajarse, el dominio de la responsabilidad a expandirse y, en definitiva, a incrementarse las áreas donde resulta imprescindible la distribución y la garantía de los riesgos por el seguro.

[826] Ver en la materia lo expuesto más arriba sobre la noción de "daños nucleares".

(iv) Como se mencionó a propósito de la responsabilidad civil nuclear, la consagración de la responsabilidad civil en la codificación del siglo XIX no introdujo grandes innovaciones, sino que se limitó a generalizar solemnemente un sistema de responsabilidad por negligencia que encontraba sus raíces en el derecho romano.

Tales reglas de responsabilidad se crearon para responder a relaciones económicas vinculadas a la explotación de la tierra y a pequeños intercambios comerciales. Estas actividades no necesitaban de la generalización del seguro como instrumento de distribución del riesgo y, por ello, en términos generales, la codificación ignoró la regulación del seguro de responsabilidad civil.

(v) Más aún, durante la primera parte del siglo XIX se discutió la validez del seguro de responsabilidad civil, a quien se le imputaba incentivar la negligencia, condenada solemnemente por los códigos.

En Francia, una jurisprudencia de 1845 tomó partido definitivo por la validez del seguro; contrato que un autor de ese mismo siglo defendió como "esencialmente humano". Nada de revolucionaria tenía tal decisión, pues en esa época la industrialización de la economía y el desarrollo de los medios de transporte habían convertido al seguro de responsabilidad en un mecanismo útil de distribución de riesgos cada vez más graves y corrientes.

A pesar de ello, en los países del *common law* el argumento de que el seguro de responsabilidad civil sería ilícito por *incentivar la negligencia* fue superado definitivamente sólo en las primeras dos décadas del siglo XX. Incluso, esa oposición se mantuvo durante prácticamente todo el siglo XX en la URSS.

(vi) Un segundo paso relevante fue dado por la aceptación expresa del seguro de responsabilidad civil en caso de comportamiento negligente del asegurado (1876, en el caso de la Corte de Casación francesa) y, posteriormente, incluso tratándose de la culpa grave o lata (1930, también en el caso francés).

(vii) Desde comienzos del siglo XX el seguro de responsabilidad tuvo un enorme desarrollo en todos los países industrializados. La práctica del seguro comenzó a extenderse más allá de las actividades industriales y de transporte para acompañar el ejercicio de cualquier profesión sujeta a riesgos graves.

(viii) Pero sin duda, el impulso definitivo a la masificación del seguro en la segunda mitad del siglo XX, fue dado por el legislador.

En diversos países se impuso la obligación de contratar un seguro de responsabilidad civil para ejercer determinadas actividades o profesiones, tales como: circulación de vehículos terrestres a motor; caza y otros deportes riesgosos; transporte de substancias peligrosas; **explotación de la energía nuclear**; explotación de teleféricos y remolcadores; explotación de naves y aeronaves; actividades de construcción; notarios; abogados; médicos; dirigentes y ejecutivos de sociedades, etc.

(ix) Al finalizar el siglo XX, se han constatado algunos disfuncionamientos del seguro de responsabilidad civil, que en gran medida son producto de las deformaciones que lamentablemente provocó en algunos sistemas de responsabilidad civil y que han sido aludidas.

La imposibilidad de anticipar razonablemente el monto de la indemnización, sumado a la alta probabilidad de realización del daño provoca que los aseguradores se retiren de ciertas áreas o eleven sus primas a un nivel que hace poco viable el ejercicio de la actividad.

Así, también, el aumento sostenido del monto de las indemnizaciones (particularmente por daños corporales) ha provocado problemas de solvencia a pequeñas compañías aseguradoras.

(x) En el derecho nacional, el Código de Comercio de 1865 reguló el contrato de seguro terrestre y marítimo, pero no reconoció expresamente el de responsabilidad civil (arts. 512 a 601). La definición otorgada por el artículo 512 hace referencia exclusivamente al seguro de cosas: "*riesgos de pérdida o deterioro que corren ciertos objetos... la pérdida o cualquier otro daño estimable que sufran los objetos asegurados*".

No obstante, la regulación que ese código otorgó a una categoría del seguro de cosas -el *seguro de incendio*- reconoce esta figura, al permitir que mediante un pacto expreso se comprenda "*el riesgo que corre su propietario de indemnizar los daños que cause a los vecinos el incendio del edificio asegurado*", que únicamente puede hacerse efectivo una vez que "*exhiba una sentencia ejecutoriada en la que se le haya declarado responsable de la comunicación del fuego*" (arts. 580 y 581 del C. Com.).

(xi) Mediante una ley de 1927 y un DFL de 1931 se organizó el comercio de seguros y su fiscalización en Chile.

Sin regularlo, estos textos se refieren al seguro de responsabilidad tácitamente al clasificar las compañías de seguros en dos grupos, comprendiendo dentro del primer

grupo a aquellas que cubran "*la reparación de daños causados por acontecimientos que puedan o no ocurrir*"[827].

(xii) Pero la ausencia de regulación no impidió la expansión del seguro de responsabilidad como una garantía de la reparación de diversos daños -fundándose naturalmente en el principio de autonomía de la voluntad (art. 1545 del CC)-.

No cabe duda de que a ello ha contribuido –tal como en la práctica comparada que ya ha sido aludida- la imposición legal de seguros de responsabilidad obligatorios como condición de ejercicio de ciertas actividades en Chile:

- Seguro social por accidentes del trabajo;

- Seguro de responsabilidad que grava a los propietarios, armadores u operadores de naves por derrames de hidrocarburos y otras substancias nocivas

- Seguro de responsabilidad que deben contratar los explotadores de instalaciones, centros, laboratorios o establecimientos nucleares por daños que pueda causar un accidente nuclear, que es objeto de este análisis

- Seguro a cargo del propietario de un vehículo motorizado por accidentes personales

- Seguro a cargo del prestador acreditado de servicios de certificación de firma electrónica.

Tal como se señaló, la imposición de un seguro obligatorio se une frecuentemente al reconocimiento de un estatuto de responsabilidad estricta en esos ámbitos, como ocurrió en materia de responsabilidad civil nuclear.

Otras leyes prevén también la suscripción de un seguro de responsabilidad civil, pero sin declararlo obligatorio. Tal es el caso del seguro marítimo de responsabilidad civil (introducido por la modificación del Código de Comercio de 1988, arts. 1200 a 1202)[828]; del seguro de responsabilidad por daños causados por la fumigación de pesticidas[829]; y del seguro de responsabilidad que puede presentarse en conjunto con

[827] Artículo 41 de la ley n°4.228, de 21 de diciembre de 1927 y artículo 8 del DFL n°251, de 22 de mayo de 1931.

[828] Ley n°18.680, de 11 de enero de 1988.

[829] Ley n° 15.703, de 1964, art. 6.

el estudio de impacto ambiental que cubra el riesgo de daño al medio ambiente durante el proceso de evaluación[830].

Asimismo, una modificación del año 1987 de la regulación de la ley aplicable a las compañías de seguros, contempla expresamente la posibilidad de asegurar los riesgos al "patrimonio", noción que es comprensiva de los seguros de responsabilidad civil[831].

(xiii) En aquello que es relevante para las eventuales proposiciones normativas en materia de energía nuclear y específicamente en materias de seguros de responsabilidad nuclear, es necesario mencionar un Proyecto ley de 2 de agosto de 1995 que pretendía modificar el contrato de seguro del Código de Comercio, incorporando una regulación especial para los seguros de responsabilidad civil[832].

A pesar de que fue retirado por el Poder Ejecutivo, este Proyecto ley fue objeto de un largo trabajo de redacción por expertos reunidos por la Superintendencia de Valores y Seguros y que proporcionaba algunas soluciones a problemas que presenta el seguro de responsabilidad civil en la práctica nacional[833].

Posteriormente, en el año 2003, el Ministerio de Justicia impulsó nuevamente esta iniciativa, y nombró una comisión para que revisara y actualizara el referido anteproyecto. La nueva versión del proyecto comenzó a ser revisada por la Superintendencia de Valores y Seguros, pero no prosperó.

Finalmente, el 10 de julio de 2007, se presentó un nuevo proyecto (Boletín N° 5185-03), que recoge en esencia los proyectos anteriores y que otorga una regulación particular al seguro de responsabilidad, pero que no ha sido discutido.

(xiv) Pero el mercado de los seguros de responsabilidad civil es más extenso de lo que esta evolución legislativa puede mostrar.

---

[830] Ley n°19.300 de Bases generales del medio ambiente, art. 15 y el Reglamento del Sistema de evaluación de impacto ambiental (DS 30, de 27 de marzo de 1997).

[831] Ley n°18.660, de 20 de octubre de 1987, que sustituyó el art. 8 del DFL N° 251 de 1931.

[832] Boletín n°1666-07.

[833] La Comisión redactora de este Proyecto de Ley fue constituida por el Superintendente de Valores y Seguros en 1990, celebró 56 sesiones durante dos años de funcionamiento y contó entre sus integrantes a Juan Achurra Larraín, Sergio Baeza Pinto y Osvaldo Contreras Strauch. El Proyecto se sometió a la revisión del Ministerio de Justicia, de la Fiscalía Nacional de Quiebras y del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Sin embargo, el Poder Ejecutivo retiró el proyecto el 6 de junio de 2000.

La carencia de una tipificación legal no ha impedido que en la actualidad existan más de 30 pólizas de seguros de responsabilidad registradas en el Depósito de Pólizas que mantiene la Superintendencia de Valores y Seguros[834].

La ausencia de una regulación general aplicable a este seguro ha permitido que las propias compañías adapten la extensión de las garantías, aunque este fenómeno conduce a asimetrías y ambigüedades en la cobertura de los riesgos.

Finalmente, como se dijo, esta evolución del seguro de responsabilidad civil en el derecho nacional ha sido acompañada tímidamente por la jurisprudencia –pues la mayoría de los juicios de responsabilidad en que está involucrado un seguro terminan por transacción y las pólizas someten la resolución de las diferencias entre las partes a un árbitro arbitrador- y también por la doctrina.

(xvii) De toda esta evolución legislativa, parcelaria y ambigua, pueden extraerse algunas ideas relevantes para el seguro de responsabilidad civil nuclear:

- El seguro de responsabilidad es un contrato mediante el cual el asegurador se compromete, a cambio de una prima, a cubrir las indemnizaciones a que resulte obligado el asegurado por daños a terceros previstos en la póliza[835].

- El asegurador, que solamente puede ser alguna de las empresas que la ley menciona, asume un *riesgo* –y por ello es un contrato aleatorio- constituido por la eventual deuda de indemnización de perjuicios que grave al asegurado.

- El *interés asegurable* es el objetivo del asegurado de mantener indemne su patrimonio de acciones de responsabilidad de terceros y por esto tiene un carácter *indemnizatorio*.

- Se trata de un *seguro de daños:* su objeto es sustituir al asegurado en el pago de los perjuicios provenientes de un riesgo contemplado en la póliza[836]. Entre los *seguros de daños*, el seguro de responsabilidad puede clasificarse como un

[834] Este Depósito de Pólizas es, naturalmente, un registro público que se encuentra disponible en el sitio internet de la Superintendencia: www.svs.cl

[835] Como se señaló, la legislación no contiene una definición de seguro de responsabilidad civil. El Proyecto Ley de 1995 contenía la siguiente definición: "Por el seguro de responsabilidad civil, el asegurador se obliga a indemnizar al asegurado el menoscabo patrimonial proveniente de su obligación de reparar los daños y perjuicios causados a terceros por un hecho previsto en la póliza del cual sea civilmente responsable, con excepción de los que haya causado dolosamente" (art. 572).

[836] Por oposición a los *seguros de personas*, en que el objeto de la cobertura es la vida, salud y la integridad física de las personas aseguradas. Por lo demás, esta es la clasificación que utiliza el DFL n°251 de 1931 para separar en dos grupos a las compañías aseguradoras (art. 8).

seguro patrimonial, pues garantiza la integridad del patrimonio del asegurado contra acciones de responsabilidad de terceros[837].

- Respecto de sus otras características jurídicas, cabe destacar que el contrato de seguro de responsabilidad es *solemne*, perfeccionándose por la suscripción de una *póliza* que redacta el asegurador y que, por consiguiente, reviste el carácter de *contrato por adhesión*.

- Como se dijo, por carecer de una regulación especial, el seguro de responsabilidad civil se sujeta a las normas generales previstas para el contrato de seguro en el Código de Comercio (arts. 512 y s.).

- Ahora bien, como en todo contrato de seguro, el ***asegurado*** asume la obligación de pagar oportunamente la prima convenida y ciertas cargas, como la obligación de notificar la ocurrencia del siniestro, de abstenerse de reconocer su responsabilidad o de transigir sin la autorización del asegurador. Por su parte, el ***asegurador*** se obliga a pagar la suma a que sea condenado el asegurado por concepto de responsabilidad civil (por sentencia definitiva o transacción), y también a ciertas cargas, como notificar la caducidad del contrato por incumplimiento, pronunciarse dentro de un plazo acerca del derecho del asegurado frente a un siniestro y asumir su defensa si ello se ha previsto en la póliza. Los ***beneficiarios*** son los terceros-víctimas que recibirán la indemnización y que deberán demandar por regla general al asegurado; salvo en cuanto se les conceda acción directa contra el asegurador.

- Como el seguro tiene un fin indemnizatorio de los perjuicios de la víctima, esta no puede acumularlo con otras sumas que tengan por fin reparar esos perjuicios.

- El pago de la indemnización por el asegurador lo subroga en los derechos del asegurador contra otros responsables.

- El seguro de responsabilidad civil puede cubrir los riesgos provenientes de la responsabilidad contractual y extracontractual, de todas o algunas de las actividades del asegurado o solamente de aquellas vinculadas a la utilización de una cosa en particular. En esta materia, debe estarse a lo que se menciona en la sección de responsabilidad civil nuclear, acerca de la noción de instalaciones y de sustancias nucleares, para el caso de este tipo particular de seguros.

[837] Por oposición a los *seguros reales o de cosas,* que son aquellos que protegen contra siniestros que pueden afectar a cosas determinadas.

- Si se examinan las disposiciones jurídicas aplicables y las prácticas contenidas en los principales tipos de pólizas, puede constatarse que la extensión de la garantía de la reparación contenida en el seguro depende directamente de la definición de dos variables: el *riesgo* de responsabilidad civil cubierto; y, la noción de *siniestro,* que determina la duración de la garantía del seguro. Aunque conocidos en derecho de seguros, estos conceptos presentan problemas bastante particulares en materia de responsabilidad civil. En materia de seguros de responsabilidad, el riesgo son las consecuencias patrimoniales derivadas de la responsabilidad civil, por un hecho previsto en la póliza. Tales consecuencias se encuentran condicionadas, en el caso de la responsabilidad nuclear, por la noción de daños reparables, daños directos e indirectos y de exenciones de responsabilidad, tratadas a propósitos de esas materias en el capítulo de responsabilidad civil nuclear. En cuanto al siniestro, en materia nuclear se encuentra determinado por la noción de instalaciones, extensión geográfica de la responsabilidad y de accidente nuclear, todas analizadas también a propósito de la responsabilidad civil nuclear.

- En cuanto al ejercicio de la reparación, en el derecho chileno no existe la acción directa, que puede ser dirigida de la víctima al asegurador, debiendo demandarse al asegurado. Usualmente, sin embargo, es el asegurador quien dirige y asume la defensa del asegurado en el proceso, si bien no existe regla legal al respecto.

Todas estas lagunas y contradicciones de la legislación especial y de la legislación común en materia de seguros privados son examinadas en el capítulo que sigue a continuación.

2.4. Identificación de los puntos críticos, vacios y contradicciones de la legislación nacional en materia de seguros privados

Una vez revisado el estatuto de los seguros privados contenido en las Convenciones Internacionales, la experiencia comparada seleccionada y considerada relevante, y el sistema nacional vigente en la materia, es necesario describir los vacíos y contradicciones que estos informantes han detectado en el marco de las adaptaciones legales necesarias para la introducción de la energía nuclear en Chile.

Antes de desarrollar este punto, debemos señalar, que en el informe de avance N°1, se habían detectado los puntos críticos relativos a los sistemas de seguros y garantías estatales estudiados. Al analizar la legislación nacional, e identificar los vacíos y contradicciones de ésta, estos informantes se percataron que éstos coincidían con los puntos críticos analizados, por lo que los temas desarrollados en esta sección son substancialmente los mismos que los puntos críticos.

Considerando que estos vacíos y contradicciones están vinculados a los aspectos críticos identificados en el informe de avance N°1, y a lo expuesto en detalle sobre el derecho nacional en este informe, se revisan en el mismo orden que los puntos críticos antes mencionados: **(2.4.1.)** Límites de las coberturas de los seguros; **(2.4.2.)** Extensión en el tiempo de la garantía de los seguros privados (prescripción); **(2.4.3.)** Ausencia de regulación sistemática del seguro de responsabilidad civil en general; **(2.4.4.)** Posibilidad de establecer restricciones de los daños comprendidos en la cobertura; **(2.4.5.)** Exclusiones de la cobertura del seguro privado; y, **(2.4.6.)** Posibilidades del reaseguro en materia de responsabilidad civil nuclear

Para cada una de esas secciones, se efectuará una breve remisión a lo previsto en los Convenios Internacionales y en la experiencia comparada seleccionada –evitando toda repetición innecesaria-, para luego abocarse a la explicación de los vacíos y contradicciones.

2.4.1. Los montos límites de cobertura de los seguros privados

Como hemos indicado, entre los diversos puntos críticos a tratar en materia de seguros privados se encuentra el referido a los límites de cobertura de sus pólizas, tema que presenta diversas aristas que se abordaran en esta sección.

Como se expuso, en la Ley de Seguridad Nuclear el "*límite máximo de la responsabilidad por daños nucleares en que puede incurrir el explotador por cada accidente nuclear, será el equivalente en moneda nacional de la suma de 75 millones de dólares, moneda de Estados Unidos de América, el que se reajustará automáticamente en el porcentaje de la variación de los Derechos Especiales de Giro del Fondo Monetario Internacional, entre la fecha de esta ley y la del accidente nuclear*" (art.60). La disposición agrega que: "*Esta regla se entiende sin perjuicio del derecho a cobrar los intereses, costas y reajustes que procedan*".

Por su parte, el artículo 62 establece el carácter obligatorio de la contratación de un seguro de responsabilidad por parte del explotador: "*Todo explotador deberá caucionar su responsabilidad mediante la contratación de seguros o la constitución de garantías,* ***por el límite máximo establecido en el artículo 60***. […] *Sólo una vez que acredite el cumplimiento de las exigencias de este artículo, podrá obtener la autorización que lo habilite para la puesta en operación de la instalación nuclear*".

Los Convenios Internacionales establecen mínimos de cobertura de seguros privados diversos a los del derecho interno. Asimismo, establecen la posibilidad de que esas sumas sean cubiertas en parte por seguros privados y en parte por garantías estatales. Finalmente, establecen excepciones para que los Estados puedan reducir esos

mínimos, facilitando el seguro privado, sujeto a ciertas condiciones (por ejemplo, por el bajo nivel de riesgo de la instalación, o siempre que el Estado supla la diferencia con sus garantías).

Para analizar estos puntos críticos, vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a los contenidos ya desarrollados, a los siguientes aspectos: **(2.4.1.1)** Los límites de cobertura de los seguros privados en los Tratados, con acento en las diferencias y similitud con la legislación nacional; **(2.4.1.2.)** Los límites de cobertura de los seguros privados en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y similitud con la legislación nacional; y, **(2.1.4.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de límites de coberturas de los seguros privados.

2.4.1.1. Los límites de cobertura de los seguros privados en los Tratados, con acento en las diferencias y similitudes con la legislación nacional

Como se ha señalado con antelación, los instrumentos internacionales que regulan la responsabilidad civil por daños nucleares, esto es, el Convenio de París de 1960 y la Convención de Viena de 1963, establecen límites a la responsabilidad del explotador de una instalación, en caso de producirse un accidente que ocasione daños nucleares.

Se debe tener presente que, en virtud del principio de "*congruencia entre la responsabilidad y el grado de protección*", los límites a la responsabilidad del explotador establecidos por estos tratados internacionales, determinan la cuantía del seguro o garantía financiera que éste debe proveer, a fin de cubrir los daños indemnizables.

De este modo, cuando se indican los límites máximos de la responsabilidad del explotador, debe entenderse que igualmente, con la misma cifra, se establecen los montos mínimos de cobertura de seguros y garantías financieras.

En el caso del Convenio de París, en su versión enmendada el año 2004, la cantidad máxima por la que responde el explotador asciende a la suma de 700 millones de Euros.

Por su parte, el Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena establece que el importe de la compensación obligatoria para el explotador no puede ser inferior a la suma de aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG).

Como se mencionó más arriba, la Ley de Seguridad Nuclear contempla como límite de la responsabilidad del explotador la suma equivalente en pesos a US $ 75 millones. Esta suma es sustancialmente inferior a los montos de cobertura exigidos al

explotador de una instalación por los instrumentos internacionales revisados. A ello nos referiremos en el apartado final de este subtítulo.

A su vez, ambos instrumentos facultan a los Estados a fijar montos inferiores a los indicados, en determinados supuestos de hecho o bajo ciertas condiciones. Estos casos de excepción son, los siguientes:

- **Riesgo reducido.** Tanto el Convenio de París como la Convención de Viena, en sus versiones revisadas, consideran como instalaciones de riesgo reducido aquellas que, por su naturaleza, por las substancias posiblemente causantes del daño y por las consecuencias previsibles de un accidente que las involucre, representen menores riesgos.

  Para estos casos, el Convenio de París señala que el monto de la cobertura no puede ser inferior a 70 millones de Euros. Asimismo, establece que tratándose del transporte de sustancias nucleares la cobertura no puede ser inferior a 80 millones de Euros.

  El Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena, por su parte, otorga la facultad en estos casos de riesgo reducido de limitar la responsabilidad del explotador a una cuantía no menor a aproximadamente US $ 8 millones (5 millones de DEG), siempre y cuando el Estado de la instalación garantice la aportación de fondos públicos por un importe no inferior a aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG).

- **Aporte conjunto.** El Protocolo de Enmienda de la Convención de Viena indica que el Estado de la instalación podrá limitar la responsabilidad del explotador a no menos de aproximadamente US $ 240 millones (150 millones de DEG), siempre que por encima de ese importe y hasta completar aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG), dicho Estado aporte fondos públicos para indemnizar los daños nucleares.

  En lo que respecta el régimen jurídico de responsabilidad por daños nucleares, establecido por el Convenio de París cabe señalar que no se encuentra en este cuerpo legal, una norma de esta naturaleza.

- **Cuantía transitoria.** Como se expuso en la sección relativa a los Tratados Internacionales, ambos instrumentos normativos contienen reglas tendientes a facilitar su adopción e implementación, mediante la reducción de los límites de la responsabilidad en materia de accidentes nucleares, durante un periodo transitorio.

Es así que la Enmienda del Convenio de París habilita a los Estados para limitar la responsabilidad del explotador a una cuantía transitoria no inferior a 350 millones de Euros, por un periodo máximo de cinco años a contar de la adopción de dicho instrumento.

Igualmente, la versión enmendada de la Convención de Viena otorga la posibilidad de limitar la responsabilidad a una suma no menor a aproximadamente US $ 160 millones (100 millones de DEG), por un periodo máximo de 15 años a contar de la entrada en vigor de ese Protocolo. Incluso, es posible disponer un importe inferior al recién señalado, bajo la condición de que el Estado aporte fondos públicos para indemnizar daños nucleares entre ese importe inferior y aproximadamente US $ 160 millones (100 millones de DEG).

- **Variable del mercado de seguros privados.** El Convenio de París en su actual versión, establece una norma de especial interés, en cuanto faculta a los Estados parte a modificar la cuantía de la responsabilidad, exigiendo sumas mayores o menores, atendida la posibilidad del explotador de obtener un seguro u otra garantía financiera, considerando los factores que determinan esas posibilidades en virtud de la particular configuración del respectivo mercado de seguros.

Por su parte, la legislación nacional contiene una norma similar a la señalada. En efecto, el artículo 65 de la Ley de Seguridad Nuclear señala que en caso que "*el explotador no pueda obtener, total o parcialmente, un seguro que cubra su responsabilidad, podrá solicitar la garantía del Estado, y éste podrá concederla, para la parte no cubierta del seguro o para su totalidad. El reglamento determinará la forma y condiciones de esta garantía*".

No obstante, atendido el hecho que el reglamento mencionado por la Ley de Seguridad Nuclear no ha sido aún dictado, la posibilidad de modificar los montos de cobertura exigidos al explotador, parece ser difícil en la práctica.

En atención a lo expuesto, es posible señalar que la legislación nacional, actualmente aplicable a la materia, no contempla posibilidad alguna de modificar los límites de la responsabilidad del explotador.

En consecuencia, es igualmente necesario pronunciarse respecto de estos vacíos, lo que haremos en el apartado final de este subtítulo.

2.4.1.2. Los límites de cobertura de los seguros privados en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional.

Como se expuso en la sección relativa al derecho comparado, en los Estados Unidos, la Ley Price-Anderson, exige dos tipos de protección financiera, siendo ambos absolutamente privados, sin embargo distintos en cuanto a la forma y oportunidad en que procede su pago.

El primer nivel de protección financiera, denominada protección financiera primaria, corresponde al seguro obligatorio que cada explotador debe contratar de manera individual con la *American Nuclear Insurers* (ANI). Actualmente el monto al cual asciende esta cobertura es de US $ 300 millones.

Por su parte, la protección financiera secundaria, es una forma de cobertura de los daños, que opera de manera colectiva y con posterioridad a la ocurrencia de un accidente nuclear. En efecto, ésta se basa en el pago de primas retroactivas, que la ANI cobra a prorrata a todos los explotadores de instalaciones que mantengan seguros con este consorcio de aseguradoras, en el evento que los daños producidos por un incidente nuclear excedan de US $ 300 millones.

Ciertamente, este modelo de cobertura de la responsabilidad de los explotadores presenta como ventaja la posibilidad de distribuir el riesgo de la actividad entre todos los explotadores. Sin embargo, ha de tenerse presente que su viabilidad está necesariamente condicionada a la existencia de un mercado desarrollado de productores de energía eléctrica de fuente nuclear, y a un sólido e importante mercado de los seguros.

En el caso de Japón, la Ley de Compensación por daños nucleares establece un régimen de responsabilidad estricta, exclusiva e ilimitada del operador de una instalación nuclear. No obstante, el artículo 7 de esta ley, en su versión modificada que comenzó a regir el día 1° de enero de 2010, prescribe que para asegurar el pago de indemnizaciones todo operador debe contar con un seguro obligatorio, cuya cobertura no puede ser inferior a 120 billones de Yenes (aproximadamente US $ 1.300 millones).

Asimismo, se contempla la posibilidad que, previa autorización del Parlamento, el Gobierno pueda prestar ayuda financiera a los explotadores, en el evento que las compensaciones que deban pagar excedan la cobertura prevista por los seguros.

Como se ha indicado en forma previa, la legislación francesa en materia de responsabilidad civil por daños nucleares, deriva directamente del régimen de

responsabilidad establecido en el Convenio de París, por tanto resulta aplicable todo lo expuesto respecto de dicho instrumento.

2.4.1.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de límites de coberturas de los seguros privados.

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- El primer punto a tratar es si existe la necesidad o no de **ajustar los límites** de cobertura de los seguros privados a los Tratados Internacionales enmendados y a los sistemas comparados analizados.

  A la luz de lo expuesto, es evidente que los límites a la responsabilidad dispuestos por la legislación chilena resultan notoriamente inferiores a aquellos fijados por los instrumentos internacionales y las legislaciones comparadas revisadas.

  Sin duda, esto hace necesario plantearse la interrogante de considerar un aumento de los límites de la responsabilidad y de la cobertura de los seguros, a fin de armonizar nuestra legislación con dichos instrumentos.

  Sin embargo, una modificación de la Ley de Seguridad Nuclear tendiente a ello, es una decisión de carácter esencialmente económico, que depende de la capacidad del mercado de seguros de proveer montos mayores de cobertura.

  Por lo demás, para el caso que se decida revisarlos, es conveniente también analizar la oportunidad, en post de otorgar viabilidad al mercado de los seguros privados, de implementar todas o algunas de las medidas previstas en los Instrumentos Internacionales: establecer cuantías menores por instalaciones de riesgo reducido; establecer cuantías menores transitorias; establecer cuantías compartidas; o, ajustar las sumas en atención a la reacción del mercado de los seguros.

- El segundo punto a tratar es la **viabilidad de establecer coberturas compartidas entre seguros y garantías estatales.**

  Otro aspecto relevante que surge del análisis del Convenio de París, la Convención de Viena y, particularmente, la legislación japonesa, se refiere a la posibilidad de que el Estado contribuya a cubrir el monto al cual asciende la responsabilidad del explotador, en aquellos casos en la cobertura del seguro es inferior a aquella.

En el caso de la Convención de Viena y la legislación japonesa, el establecimiento de la cobertura compartida sólo se sujeta a la decisión de los órganos Estado. Por su parte, el Convenio de París señala que esto debe ser una consecuencia de las condiciones del mercado de seguros, al que tiene acceso el explotador para obtener el seguro o garantía financiera obligatoria.

En este punto, especial mención merece el artículo 65 de la Ley de Seguridad Nuclear. En efecto, esta norma establece la facultad de que el Estado conceda una garantía estatal, en caso que el explotador no pueda obtener, de forma parcial o total, un seguro que cubra su responsabilidad.

No obstante, como se indicó la ausencia del reglamento que determina la forma y condiciones de esta cobertura estatal conjunta, hace inviable esta posibilidad en el contexto del marco normativo actualmente vigente en Chile, cuestión que representa un vacío que debería ser abordado en una eventual modificación de la regulación nacional.

- El tercer punto es la factibilidad de reconocer **excepciones a ciertas explotaciones de energía nuclear con mínimos de cobertura menores**.

  Como se expuso, otro punto crítico advertido en la legislación nacional consiste en la ausencia de mecanismos de flexibilización de los niveles de cobertura exigidos al explotador.

  En efecto, los instrumentos internacionales estudiados contemplan determinados casos de excepción, en los que se faculta al Estado para modificar la cuantía de la responsabilidad del explotador, bajo ciertas condiciones.

  Así, por ejemplo, los supuestos de riesgo reducido, atendida la naturaleza de una instalación, o atendidas las substancias causantes del daño o, por último, en consideración a las consecuencias previsibles de un accidente, permiten disminuir sustancialmente el monto al cual asciende la responsabilidad del explotador, lo que puede ser estudiado para la legislación nacional.

  Igualmente, parece interesante la norma que habilita al Estado a limitar la responsabilidad del explotador, por un periodo acotado de tiempo, de forma tal de posibilitar la implementación gradual del mercado de los seguros en la materia.

2.4.2. Extensión en el tiempo de la cobertura del seguro privado (prescripción)

La Ley de Seguridad Nuclear dispone que "*La acción para reclamar por los daños nucleares prescribirá en el plazo de diez años, contando de la fecha en que ocurrió o se denunció por un inspector el accidente nuclear. El demandante podrá modificar su demanda, en razón de agravación del daño sufrido, hasta el momento de dictarse la sentencia definitiva de segunda instancia. La ampliación o modificación de la demanda se tramitará en forma incidental*" (art. 66).

La prescripción es un punto sensible esencialmente en materia de seguros, pero también, como es obvio, para las víctimas.

Efectivamente, para las compañías aseguradoras el plazo de prescripción es crucial para determinar la amplitud de sus compromisos para con los explotadores asegurados.

Es posible destacar, desde la perspectiva de los seguros, tres problemas en la materia: los plazos diferenciados para los daños corporales y materiales; los plazos de caducidad de la acción; y, la eventual opción para los Estados Partes de reducir estos plazos.

Para analizar los puntos críticos, vacíos y contradicciones en la materia, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en lo expuesto más arriba, a lo siguiente: **(2.4.2.1.)** Extensión en el tiempo de la cobertura del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(2.4.2.2.)** Extensión en el tiempo de la cobertura del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(2.4.2.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de extensión en el tiempo de la cobertura del seguro privado.

2.4.2.1. Extensión en el tiempo de la cobertura del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

La Convención de Viena y el Convenio de París enmendados disponen dos plazos de prescripción diferenciados y un plazo de caducidad o extinción de la acción:

- Un plazo de prescripción de treinta años a contar de la fecha del accidente nuclear, para pérdida de vida o lesiones corporales.

- Un plazo de prescripción de diez años a contar de la fecha del accidente, para cualquier otro daño.

- Un plazo de caducidad o extinción[838] de tres años a contar de la fecha en que la víctima haya tomado conocimiento, o pueda haber razonablemente tenido conocimiento del daño y de la identidad del explotador, siempre que no se hayan vencido los plazos de prescripción decenales y tridecenales antes señalados.

Como se dijo, en este punto también la Ley de Seguridad Nuclear se aparta de los Convenios Internacionales.

En primer lugar, al no diferenciar plazos de prescripción según la naturaleza del daño, conservando una prescripción decenal para todo tipo de perjuicio.

Por otra parte, tampoco establece un plazo de caducidad o de extinción que se compute a partir de la aparición de los daños, o desde el momento en que razonablemente debió tenerse conocimiento de ellos.

2.4.2.2. Extensión en el tiempo de la cobertura del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

La legislación francesa en la materia será modificada a partir de la entrada en vigor del Protocolo de Enmienda del Convenio de París de 2004. En un inicio, la ley N° 68-943 establecía un plazo de caducidad de tres años a contar del conocimiento o razonable conocimiento del daño por parte de la víctima, siempre cuando la acción fuera entablada dentro de un plazo de prescripción de 10 años a contar del accidente, sin diferenciar la naturaleza del daño.

El plazo de caducidad no fue modificado, pero sí el plazo de prescripción, que fue ampliado ajustándose a los nuevos plazos del artículo 8 del Convenio de París.

Así, cuando el Protocolo de Enmienda entre en vigor, la legislación francesa tendrá un plazo de prescripción de 10 años para los daños materiales y 30 para los corporales, cuestión que ha sido criticada por los aseguradores.

Por su parte, Japón aplica en parte las reglas de responsabilidad de su derecho común. La ley japonesa establece una caducidad de la acción en un plazo de tres años y un plazo de prescripción general de 20 años. Es un mecanismo similar al de los

[838] El Convenio de París utiliza el término de caducidad, y la Convención de Viena el término de extinción.

Convenios y de la legislación francesa, pero con un plazo de prescripción inferior y no diferenciado.

En Estados Unidos la situación en materia de prescripción no es homogénea ya que se aplica la legislación federal de cada Estado. Por regla general, los Estados que tienen actividad nuclear tienen plazos de prescripción en la materia, similares a los que ya hemos visto, es decir, un plazo de caducidad de tres años a contar del conocimiento del daño por parte de la víctima.

A la luz de lo anterior, podemos observar que Chile no se encuentra en una situación particularmente excepcional en cuanto a los plazos de prescripción. En el estado actual de la legislación internacional y comparada, sigue siendo un plazo relativamente razonable. Debe tenerse en cuenta que en Chile, el plazo de prescripción del derecho civil común es de 4 años.

2.4.2.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de extensión en el tiempo de la cobertura del seguro privado

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- Las reglas de derecho común en materia de responsabilidad civil del derecho vigente disponen un plazo de prescripción de 4 años. Chile ya tiene un estatuto particular para la responsabilidad civil nuclear, en que este plazo de prescripción ha sido extendido a 10 años (plazo similar al dispuesto por la Convención de Viena antes de su enmienda de 1997).

  Como lo hemos señalado, Chile es parte de este instrumento, pero no ha ratificado la enmienda que modificó los plazos de prescripción y caducidad, de modo que la legislación vigente se encuentra ajustada a la primera versión de la Convención de Viena, por lo que, *a priori*, una modificación no sería necesaria.

  No obstante, como también lo señalamos, muy probablemente Chile no podrá abstraerse de sus compromisos internacionales, por lo que eventualmente, ya sea a través de la Convención de Viena o de la de París, deberá discutirse si se ajustan al **nuevo plazo de prescripción los daños personales** (30 años).

  Para ello, debe tenerse en cuenta que las compañías aseguradoras muestran a nivel internacional una conducta reacia a garantizar daños por períodos tan largos.

Las compañías de seguro han criticado la extensión de la prescripción para los daños corporales principalmente por dos razones. La primera es, sin duda, que la exposición prolongada a las consecuencias de un accidente nuclear expone a las compañías a indemnizar daños acumulativos, que pueden manifestarse varias décadas después de ocurrido el accidente.

La segunda es que los daños personales provocados por la exposición a rayos ionizantes son principalmente cánceres de distintos tipos. Estas patologías son inmensamente comunes en la sociedad, por lo que resultaría en principio difícil discernir los cánceres propios de los efectos de un accidente nuclear a los cánceres "naturales" de la población.

- Por otra parte, atendido las disposiciones de los Convenios de Viena y de París, no pareciera posible establecer plazos de **prescripción inferiores a 10 años** para los daños materiales. *A priori*, la ley vigente se ajusta a un mínimo aceptable en relación con los compromisos internacionales y la legislación comparada.

- Para terminar, la legislación vigente no establece un **plazo de caducidad** o extinción, independiente de la prescripción, como lo hacen los Convenios internacionales y la legislación comparada, en especial, Francia.

  Podría plantearse como pertinente introducir este plazo de caducidad en la legislación nacional.

  En primer lugar, porque hace parte de la evolución del derecho nuclear internacional de la que, como hemos señalado en reiteradas oportunidades, Chile no podrá desentenderse.

  En segundo lugar, porque esto sería una ventaja para los propios aseguradores, para la viabilidad del mercado de los seguros, que podrían intentar ampararse de este breve plazo de caducidad, demostrando que la víctima debió razonablemente haber tenido conocimiento del daño que le aquejaba y de la identidad del explotador responsable. Tal excusa no es ilegítima, sino que se ampara en el castigo a la propia inacción de la víctima.

2.4.3. Ausencia de regulación sistemática del seguro de responsabilidad civil en general

Tal como fue explicado en detalle en este informe, en el derecho nacional no existe una regulación sistemática del seguro de responsabilidad civil, y su estatuto debe deducirse de numerosas reglas aisladas y parcelarias.

Por su parte, las normas especiales para el seguro de responsabilidad civil nuclear previstas en la Ley de Seguridad Nuclear, resultan insuficientes.

En ausencia de regulación detallada, las disposiciones que fijan el alcance de la garantía y su ejercicio quedan determinadas en gran medida por las pólizas que redactan las compañías, y es sabido que su tendencia es a restringir en todo lo posible la cobertura.

Así, se puede señalar que la carencia de una tipificación legal en materia de responsabilidad civil en general ha generado la proliferación de numerosas pólizas relativas a esta materia, cuyo contenido es determinado autónomamente por las compañías de seguro, lo que conduce a ambigüedades, inequidades y asimetrías en la cobertura de los riesgos.

En razón de lo anterior, cabe la pregunta de si en ausencia de una regulación sistematizada y única en materia de seguro de responsabilidad civil en general, es necesario que al menos en materia de daños nucleares se implemente una regulación específica, a fin de evitar posibles abusos de las compañías que tienden con demasiada frecuencia a estipular en su favor.

Al mismo tiempo, una regulación adecuada puede entregar a las víctimas una protección reforzada, como ocurre en materia de "acción directa", esto es, la posibilidad de que los afectados por daños nucleares puedan reclamar directamente al segurador sin tener que emplazar al explotador.

Más allá, conviene tener presente en la materia que existe un proyecto de ley en curso que intenta regular el seguro de responsabilidad civil en general, y que puede tener incidencia en esta discusión. Ese proyecto fue aludido en la sección relativa al derecho chileno del presente capítulo.

Para analizar estos pintos críticos, vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en la sección relativa a los Tratados Internacionales y derecho comparado a lo siguiente: **(2.4.3.1.)** La regulación del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(2.4.3.2.)** La regulación del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(2.4.3.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de regulación del seguro privado.

2.4.3.1. La regulación del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional.

La regulación del seguro privado en los Tratados Internacionales no es exhaustiva.

Los instrumentos internacionales, al igual que nuestro derecho vigente, establecen la obligatoriedad para el explotador de contar con seguros u otras garantías financieras que aseguren la cobertura de daños nucleares indemnizables.

Lo anterior se ve reflejado en ambos grupos de Convenios: tanto en la Convención de Viena (art. VII., numeral 1), como en el Convenio de París (art. 10), se establece dicha obligatoriedad. Sus diferencias radican en que el Convenio de París establece que el seguro debe ser contratado al menos por la cuantía establecida en el articulo 7 (a), 7 (b) y 21 (c), disposiciones que establecen los límites de responsabilidad del explotador, y que ya fueron abordadas. Por su parte, la Convención de Viena establece que la determinación de los montos de cobertura de los seguros queda entregada al Estado parte.

Nuestro derecho interno, contenido en la Ley de Seguridad Nuclear (art. 62), al igual que en los tratados analizados, establece la obligatoriedad de la contratación de seguros a fin de caucionar la responsabilidad del explotador en esta materia. Como sucede con el Convenio de París, la Ley de Seguridad Nuclear establece en el artículo 62 que el seguro debe ser tomado por límite establecido en el artículo 60 de la misma ley.

Las restantes disposiciones de los Convenios, sobre la regulación del seguro privado, atienden a las siguientes materias: la definición de daños nuclear (expuesta a propósito de la responsabilidad), y que determina la extensión de la cobertura; la extensión de la garantía en el tiempo (prescripción); y una prohibición a los aseguradores, en cuanto a que no podrán poner término al seguro sin que previamente se haya dado aviso escrito, con un mínimo de 2 meses de anticipación, a la autoridad competente.

2.4.3.2. La regulación del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional.

Como ya se ha señalado en numerosas oportunidades, Francia en estas materias sigue el modelo establecido en el Convenio de París y, a este respecto, la ley de responsabilidad nuclear que rige la materia (Ley N°68-943) establece, al explotador y transportista, la obligatoriedad de la contratación de un seguro de responsabilidad civil nuclear, por los montos señalados en la ley. La ley va aún más lejos en cuanto

establece sanciones pecuniarias y de reclusión en caso de incumplimiento de esta obligación. Por lo demás, este país cuenta con una regulación sistemática del contrato de seguro de responsabilidad civil.

Japón, sigue la tendencia mundial de establecer la obligatoriedad para el explotador del seguro de responsabilidad civil, a través de la Ley de Compensaciones por daños Nucleares, por los montos establecidos en la misma ley. A este respecto hacemos notar que a contar del 1° de enero de 2010, los montos de la cobertura de los seguros es de 120 billones de Yenes. Al igual que en Francia se establecen sanciones por el incumplimiento de mantener el seguro, con la diferencia que la pena contemplada sólo es pecuniaria, mediante la aplicación de una multa.

Debemos señalar que en cuanto a seguros privados en esta materia, en los sistemas comparados, Estados Unidos es quien ha desarrollado mecanismos más sofisticados. Si bien EEUU no ha adherido a ningún Convenio Internacional, la legislación interna establece altos montos en los límites de la responsabilidad. A este respecto lo que el Price Anderson Act (PAA), más que establecer límites a la responsabilidad, establece la obligatoriedad de mantener garantías financieras por un mínimo de cobertura[839], monto señalado en la Ley.

Al igual que en los regímenes analizados, el PAA establece la obligatoriedad de mantener la protección financiera primaria, lo que en la práctica se traduce en la contratación de un seguro.

Adicionalmente, se contempla que el explotador cuente con la protección financiera secundaria, para los efectos de cubrir aquellas compensaciones que excedan al monto de cobertura del seguro primario.

El mercado de seguros de responsabilidad civil nuclear en EEUU es un mercado bastante consolidado, en el entendido que este país es el que mayor número de instalaciones nucleares posee y que para hacer frente a estas coberturas, el sistema norteamericano se ha construido sobre la base de grandes consorcios de aseguradoras, en particular la American Nuclear Insurers, mayor proveedora de seguros en esta materia, entidad que incluso opera como reaseguradora a nivel internacional. Al agruparse en Consorcios, se está en mejor posición de distribuir los riesgos y evitar posibles insolvencias de las aseguradoras al momento del pago de indemnizaciones cuantiosas.

[839] En la actualidad, la *American Nuclear Insurers* (entidad encargada de proveer este seguro en el mercado nacional) está cubriendo estos riesgos por un monto que asciende a los 300 millones de dólares.

Hacemos presente que en Estados Unidos no existen penas pecuniarias o penas de cárcel por el incumplimiento de esta obligación. Sin perjuicio de lo anterior, al igual que en Chile, el seguro es requisito esencial para el otorgamiento de licencias. La fiscalización de la obligatoriedad del seguro no sólo se hace en una primera fase, sino que anualmente, en cuanto la ANI (American Nuclear Insurers) todos los años informa a la NRC de los licenciados que han renovado su seguro y les remite los documentos que prueban que un licenciado mantiene vigente el seguro.

Si bien, el PAA no regula específicamente como debiera operar el seguro, en la práctica norteamericana ha probado funcionar en incidentes nucleares, específicamente el incidente de "Three Mile Island", en el cual el consorcio asegurador compensó a las víctimas, no siendo necesario recurrir a la garantía secundaria financiera basada en primas retroactivas. Ahora bien, esto no significa que en el evento de un verdadero accidente nuclear de consecuencias catastróficas estos seguros obligatorios actualmente vigentes en EEUU sean suficientes, habida consideración que Estados Unidos no cuenta con garantías estatales en esta materia.

Hacemos notar que si bien en Chile se contempla la obligatoriedad del seguro de responsabilidad civil nuclear, el mercado de seguros chileno no se compara con países como EEUU, en cuanto a lo que tamaño y solvencia se refiere. Específicamente EEUU cuenta con asociaciones de aseguradoras consolidadas que proveen única y específicamente este tipo de seguro. Esto dista bastante de lo que sucede en la práctica nacional chilena, razón por la cual el definir y normar el reaseguro en estas materias, como asimismo la inclusión de garantías estatales que operen conjunta o supletoriamente a los seguros privados de responsabilidad civil nuclear, generaría un incentivo para que compañías de seguros prevean de cobertura a estos riesgos.

Adicionalmente sería conveniente tal como en los Convenios y Japón, el establecer sanciones en caso de incumplimiento de esta obligación, como asimismo, una regulación en cuanto a una fiscalización constante y no sólo inicial para efectos de garantizar la vigencia de los seguros contratados.

Respecto de otros componentes de la regulación de estos sistemas comparados, nos remitimos a lo expuesto en la sección relativa al derecho comparado.

2.4.3.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de regulación del seguro privado.

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- El primer punto a analizar es si, constatado este vacío, conviene o no establecer una **regulación más sistemática** del seguro de responsabilidad civil nuclear.

  Como ya se ha señalado, más allá de las normas contenidas en la Ley de Seguridad Nuclear, no existe una regulación sistemática que trate el alcance del seguro en esta materia, sus condiciones y el ejercicio del mismo, debiendo para tales efectos recurrir a las reglas generales sobre el seguro de responsabilidad civil en nuestra legislación y a la experiencia nacional contenida en las pólizas, que en demasiadas ocasiones se muestran excesivamente desfavorables a las víctimas.

  A este respecto, y como ya se ha planteado, la necesidad de establecer un marco regulatorio especial en materia de seguros de responsabilidad civil nuclear va directamente relacionado con la ambigüedad existente en materia de seguros de responsabilidad civil en general. Por ello, pareciera razonable diseñar una regulación específica y atingente particularmente a los seguros en materia de accidentes nucleares.

  Lo anterior contribuiría a introducir materias que hoy en día no tienen una regulación específica, como sería la acción directa de las victimas hacia el asegurador y límites en cuanto a las cláusulas que se puedan pactar en las pólizas. En particular, en cuanto a cláusulas que puedan eximir a la compañía de seguros de dar cumplimiento a la garantía establecida en la póliza.

- El segundo punto atiende, para el caso que se responda afirmativamente a la pregunta anterior, a la **amplitud de esa regulación**: debe instarse por una regulación sistemática del seguro de responsabilidad en Chile (como lo intenta al menos un proyecto de ley en Chile que se encuentra en curso), o bien es suficiente con establecer reglas aisladas y específicas para el seguro de responsabilidad civil nuclear.

  A este respecto, mientras no exista una regulación sistemática del seguro de responsabilidad civil en general, es aconsejable el disponer de una normativa específica que diga relación con el seguro en materia nuclear. Es más, incluso en el evento de existir una normativa unificadora de la responsabilidad civil en general, parece necesario que se regulen específicamente ciertas materias relativas al ámbito nuclear y a los seguros aplicables. Si bien una regulación especial en materia de responsabilidad en general sería útil, existen ciertos puntos que pudieran diferir de una normativa general al respecto, como, por ejemplo, los plazos de cobertura, daños reparables, etc., puntos que serán planteados en el siguiente apartado.

Evidentemente, ese estatuto debe estructurarse de una forma consistente con las iniciativas legislativas que en ese momento se encuentren intentando establecer un estatuto general para el seguro de responsabilidad.

- El tercer punto se refiere al **alcance que debe otorgarse a esa regulación** y cuáles serían sus reglas esenciales.

  En este sentido, resulta recomendable que la normativa que rija eventualmente el seguro de responsabilidad civil nuclear debiera acercarse a la normativa internacional vigente en la materia.

  Recapitulando lo expuesto en otras secciones de este informe sobre seguros privados, las siguientes son las materias esenciales que puede estimarse que debería prever el estatuto especial de los seguros de responsabilidad civil nuclear:

  - En cuanto a los límites de la responsabilidad y por ende al mínimo de cobertura de los seguros obligatorios en esta materia: consideramos que nuestra legislación debiera ajustar estos montos a aquellos vigentes en los convenios analizados, con las observaciones ya formuladas. Puede estimarse baja la factibilidad de que el mercado de seguros nacional proporcione coberturas por montos tan elevados, pero en tal caso sería necesario analizar la viabilidad de las garantías estatales que operen bien sea complementaria o supletoriamente a los seguros.
    Asimismo, y tal como se señalan en las Convenciones y en otras legislaciones, establecer la facultad del Estado de reducir estos montos mínimos, siempre que las instalaciones cumplan con ciertos requisitos, tales como los que se refieran a instalaciones de bajo nivel de riesgo o bien, como ya se ha señalado, que el Estado participe en el mercado mediante garantías estatales en materia de responsabilidad civil nuclear.
  - Por otra parte, los plazos de prescripción de las acciones debieran ajustarse al modelo internacional. Esto es de especial relevancia al tratar de la protección a las víctimas, en cuanto a daños corporales o muerte. Las consecuencias de la exposición a niveles de radiación dañinos para la salud pueden manifestarse una vez transcurrido un tiempo prolongado desde el momento de la exposición.
    Por lo mismo un sistema de responsabilidad en esta materia no puede dejar sin protección a las víctimas a cuyo respecto, habiendo transcurrido un breve plazo de prescripción de la acción para hacer efectivas las posibles indemnizaciones, se les manifieste algún daño con posterioridad, razón por la cual consideramos que en nuestra

legislación el plazo de prescripción en materia de muerte o daños corporales debiera considerar los estándares internacionales.

- El aspecto tal vez más relevante de la regulación es establecer un marco en que las compañías puedan redactar sus pólizas. Actualmente, al no existir una regulación uniforme y sistemática en torno al seguro de responsabilidad civil, el contenido de las pólizas se rige por el principio de la autonomía de la voluntad (acuerdo de las partes). Esto, en la práctica, es más bien un ideal, por cuanto las pólizas son confeccionadas por las compañías de seguros, constituyendo, en cierta medida, verdaderos contratos por adhesión, los que se imponen a los asegurados dejando poco espacio a la negociación de sus cláusulas.
  Esta práctica genera la posibilidad de incluir exclusiones en las pólizas que limiten la aplicación del seguro. En este sentido una normativa que rija el seguro de responsabilidad civil nuclear deberá contemplar la prohibición de pactar en las pólizas ciertas exclusiones que pudieran afectar el pago de compensaciones a víctimas de accidentes nucleares.

2.4.4. Posibilidad de establecer restricciones a la cobertura de ciertos daños

En los Convenios Internacionales y legislaciones comparadas se establece la obligación para el explotador de contar con un seguro u otra garantía equivalente para cubrir su responsabilidad por daño nuclear.

Idealmente, el explotador debiera contar con una cobertura de seguro o garantía bancaria que se ajuste rigurosamente en sus términos a las categorías daño reparable vigente en el país del explotador. No obstante, como se expondrá, es posible plantear mecanismos para restringir la cobertura de ciertos daños.

En este sentido, es posible establecer restricciones a la cobertura de ciertos daños por dos vías.

La primera es intervenir en la definición misma de daño. En efecto, los daños reparables determinan el costo del seguro, por ello, mientras más amplia es la definición, más dificultades tendrán los aseguradores para participar en este mercado y más elevadas serán las pólizas que obligatoriamente deben suscribir los explotadores para ejercer la actividad.

Como lo señalamos en la sección correspondiente a la responsabilidad civil nuclear, la definición de los daños nucleares indemnizables en los Convenios Internacionales y, necesariamente, en la mayor parte de los países que han adherido a ellos, es amplia,

especialmente en la Convención de Viena en el que se incluye además la clausula "*catch all*", a la que hemos aludido más arriba.

La segunda vía posible para la limitación de cobertura de ciertos daños es intervenir directamente en las pólizas de seguros y sus coberturas, autorizando exclusiones de ciertos riesgos, como lo hacen habitualmente los aseguradores en distintos mercados. Para ello, es necesario examinar la factibilidad legal de esta alternativa, esto es, su compatibilidad con los instrumentos internacionales y con el derecho vigente.

Para analizar estos puntos críticos, vacíos y contradicciones que les son asociados, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en las secciones anteriores, a lo siguiente: **(2.4.4.1.)** Restricciones a las coberturas de daños en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(2.4.4.2.)** Restricciones a las coberturas de daños en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(2.4.4.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de coberturas de daños.

2.4.4.1. Restricciones a las coberturas de daños en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

En cuanto a la primera vía de limitación de las coberturas, los Tratados internacionales dejan poco margen de libertad en cuanto a la determinación de los daños. Esto es, como lo hemos señalado en la sección relativa a los Tratados Internacionales, tanto la Convención de Viena como la de París establecen una serie de daños. Algunos constituyen categorías "intocables", y los Estados partes no los pueden alterar. Es lo que ocurre con la muerte y los daños a los bienes.

La explicación es evidente: éstas constituyen las categorías de daños más sensibles, por estar directamente vinculadas a la integridad física y a la propiedad de las personas.

Sin embargo, en las otras cinco categorías de daños enumerados, los instrumentos permiten una mayor amplitud, en cuanto las partes pueden elegir la medida en que éstos serán reconocidos, pues se hace mención en la materia a lo que prescriba el derecho interno. Más que una facultad para alterar la definición de daño nuclear, parece más bien una invocación a la definición de la extensión de la reparación, como se mencionó en el capítulo de responsabilidad civil nuclear.

Por ello, podría, por ejemplo, imaginarse situaciones en que los Estados limiten los daños provenientes de costos de medidas de restauración o el lucro cesante por daño ambiental. Todo ello buscando equilibrios para no dejar en desprotección a las

víctimas, pero al mismo dando viabilidad al mercado de los seguros en materia nuclear.

En el derecho vigente, la Ley de Seguridad Nuclear – lo hemos visto- no se ha hecho cargo de la modificación de la definición de daño introducida por la enmienda de 1997 de la Convención de Viena. En caso en que se decidiese modificar esa ley, se podría efectivamente plantear la posibilidad de introducir límites a la cobertura, en relación a la medida en que son reconocidos los citados daños.

No obstante, esta limitación en el monto de la indemnización de algunos daños podría entrar en conflicto con el principio de reparación integral del daño del derecho civil supletorio chileno. Al respecto, nos remitimos a lo expuesto en materia de ese principio en el capítulo de responsabilidad civil nuclear.

En lo que respecta la segunda vía de limitación (la limitación de cobertura, como fue expuesto), podemos adelantar que tanto en el Convenio de París[840] como en la Convención de Viena[841] las disposiciones permiten, o a lo menos no prohíben, la exclusión de ciertos daños en las pólizas de seguro.

En especial la Convención de Viena, que señala que el Estado en que se instala el explotador debe otorgar una garantía por aquella parte no cubierta por el seguro para la primera capa de indemnización a cargo del explotador.

En Chile, la Ley de Seguridad Nuclear establece un principio similar al de los Convenios en sus artículos 62[842] y 65[843]. El seguro resulta obligatorio por el monto de responsabilidad impuesto al explotador. Además, abre y regula la posibilidad de que el explotador no consiga un seguro para la totalidad o parte del daño. En tal caso, el explotador tiene la facultad de solicitarle al Estado que le otorgue garantía por la parte faltante del seguro, y el Estado tiene facultad para aceptarlo.

[840] Articulo 10 a. del Convenio.
[841] Articulo VII del Convenio.
[842] Artículo 62. Todo explotador deberá caucionar su responsabilidad mediante la contratación de seguros o la constitución de garantías, por el límite máximo establecido en el artículo 60.
[843] Artículo 65. Cuando el explotador no pueda obtener, total o parcialmente, un seguro que cubra su responsabilidad, podrá solicitar la garantía del Estado, y éste podrá concederla, para la parte no cubierta del seguro o para su totalidad. El reglamento determinará la forma y condiciones de esta garantía.

2.4.4.2. Restricciones a las coberturas de daños en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

En las legislaciones nacionales de los países que hemos elegido analizar, podemos destacar el caso de Francia, que remite íntegramente en materia de definición de daño a la del Convenio de París enmendado, sin agregar ninguna precisión en cuanto a los daños que podrían ser limitados por la cobertura del seguro.

Al no establecer límites conceptuales a la noción de daño, el legislador francés ha elegido conservar los términos amplios del Convenio, dejando ciertas incertidumbres a si tales limitaciones pueden establecerse en las pólizas.

En lo que concierne las legislaciones de Estados Unidos y Japón, como ya lo señalamos en materia de daños, ambas tienen una definición amplia que no hace enumeración precisa de tipos de daños, como sí lo reconocen las Convenciones Internacionales que hemos citado. La legislación japonesa en todo caso, como se ha expuesto, tiene un mecanismo de seguro pareado entre un seguro privado y un contrato de garantía con el Estado, para todos aquellos daños que no fuesen rembolsados por el seguro privado en el primer tramo de indemnización.

2.4.4.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de coberturas de daños

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- Como ya lo hemos señalado, el derecho vigente se enfrentará probablemente a la disyuntiva de adecuarse a los términos adoptados por la enmienda del 97 de la Convención de Viena.

  En esa oportunidad, en virtud de las disposiciones de la misma enmienda, es posible regular las **medidas en que se enmarquen las indemnizaciones** correspondientes al daño extrapatrimonial, costo de medidas de prevención y restauración y el lucro cesante en materia ambiental.

  Varios correctivos o paliativos podrían imaginarse frente a una expansión desmesurada del riesgo cubierto por estos seguros, que haga inviable el mercado en la materia. Evidentemente, siempre cuidando de establecer equilibrios para evitar la desprotección de las víctimas (como por ejemplo, sólo intervenir en aquellas áreas que no tengan que ver directamente con la integridad física o la propiedad privada).

Es posible imaginar, por ejemplo, a partir de un cierto nivel de contaminación, montos máximos e invariables de indemnización. También es posible limitar la indemnización de los costos de las medidas preventivas, que en ocasiones pueden ser exorbitantes, o declarar indemnizables sólo aquellas que se han sometido previamente a un proceso de autorización administrativa. Evidentemente, tales posibilidades deben evaluarse teniendo presente la garantía subsidiaria o complementaria que el Estado pueda otorgar.

Es cierto, estas limitaciones a la indemnización de ciertos daños contraviene el principio general de reparación integral, que impera en el derecho civil supletorio. Pero ya se ha expuesto que ello no debiera ser un problema en la medida en que el régimen de responsabilidad civil nuclear es un régimen que precisamente hace excepción al derecho común en la materia.

Estos límites si bien son lícitos y permitidos por la Convención de Viena, no dejan de tener la gran desventaja de desproteger al menos parcialmente a las víctimas.

No obstante, tienen la ventaja de poder cuantificar ciertos daños que han sido ampliamente criticados por el medio de los aseguradores.

En especial, se ha afirmado con insistencia que los daños ambientales no pueden razonablemente ser objeto de seguro, en la medida en que su indemnización puede llegar a montos inconmensurables. De la misma manera, se considera que las medidas preventivas – evacuaciones por ejemplo –, incluso cuando hayan sido autorizadas por las autoridades públicas, pueden llegar a ser exorbitantes.

- En la medida en que tanto las Convenciones Internacionales como las legislaciones nacionales, e inclusive la chilena, reconocen – con modalidades diferentes – la **responsabilidad subsidiaria del Estado** en caso que no responda el seguro, inferimos *a priori* que podría ser legítimo excluir ciertos daños de la cobertura.

  En esa óptica, como medida tal vez alternativa a la limitación de la indemnización de los daños que tratamos en esta sección, se podría evaluar la posibilidad de repartir la indemnización de los daños entre Estado y seguros, según la naturaleza de los perjuicios.

  Vale decir, los daños a las personas podrían ser conservados en el ámbito del seguro (e indemnizados rápida o incluso automáticamente), y la indemnización

de los daños económicos a privados ser transferidos total o parcialmente al Estado.

Se volverá sobre esta cuestión en la sección correspondiente a las garantías estatales.

2.4.5. Exclusiones de la cobertura de los seguros privados

El punto en la materia se refiere a la posibilidad de establecer en las pólizas exclusiones de la cobertura por ciertas circunstancias. En particular, por comportamiento gravemente negligente del asegurado en la ocurrencia del accidente nuclear, o establecer por ejemplo "cláusulas de reclamaciones" que hagan perder la garantía a las víctimas si éstas no informan el siniestro al asegurador dentro de ciertos plazos desde su ocurrencia.

En ausencia de una regulación sistemática del seguro de responsabilidad civil en el derecho nacional, tales exclusiones se pueden presentar y, por ello, esta cuestión se plantea como un punto crítico.

Es usual encontrar en las pólizas de seguro de responsabilidad civil –incluso en las registradas en la SVS- cláusulas de exclusiones de cobertura o riesgos excluidos que establecen la no cobertura de los daños en caso, por ejemplo, que hayan sido causados intencionalmente por el asegurado, o bien se establece la exclusión de cualquier reclamación derivada de actos deliberados, dolosos, fraudulentos o criminales del asegurado, o de sus dependientes.

Asimismo, es común en la práctica que las pólizas establezcan un plazo para que los asegurados den aviso del siniestro, estableciendo que si el aviso no se da dentro de dicho plazo, caducará el derecho a hacer valer el seguro.

Como ya se ha señalado, la incorporación de este tipo de cláusulas tiene amplia cabida en nuestro ordenamiento, por no existir una regulación particular y especifica del seguro de responsabilidad civil. La confección de las pólizas queda, en efecto, entregada a la discreción de las compañías de seguro en virtud del principio de autonomía de la voluntad. Es necesario tener presente que si bien esas exclusiones pueden presentarse como desfavorables a los terceros víctimas, en principio pueden también, si se reconocen de manera limitada, ayudar a anticipar y controlar los costos de los daños y hacer viable el mercado de los seguros.

A nuestro parecer, en este punto, se contraponen dos situaciones bastante importantes y atingentes en materia nuclear.

Primero, la importancia de proteger a la víctima de los daños, a la que no se le puede endosar la carga de hacer frente a las posibles consecuencias de un accidente nuclear.

Y segundo, los incentivos que se puedan proporcionar a las compañías de seguros, a fin de que se integren al mercado de los seguros nucleares.

Sin duda, es discutible que la víctima pueda quedar desprotegida por el no cumplimiento de plazos de trámites administrativos, como tampoco debiera quedar desprotegida por actos u omisiones deliberadamente ejecutados por el asegurado a fin de causar daño.

Igualmente, esto último se contrapone con la esencia de la responsabilidad civil nuclear, por cuanto al ser estricta u objetiva, el comportamiento del responsable (asegurado) no debería influir en la obligación de indemnizar.

Lo que sí podría estimarse pertinente, sería el establecer la posibilidad de que habiéndose determinado la intención por parte del asegurado de generar daño, la compañía aseguradora pueda repetir y perseguir su responsabilidad, a fin de obtener el reintegro de lo que haya debido desembolsar por el pago de compensaciones a víctimas.

Para analizar estos puntos críticos, vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en las secciones anteriores, a lo siguiente: **(2.4.5.1.)** Las exclusiones del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(2.4.5.2.)** Las exclusiones del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(2.4.5.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de exclusiones del seguro privado.

2.4.5.1. Las exclusiones del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Los Tratados internacionales no contemplan las exclusiones a las que se han hecho alusión. Ambos instrumentos contemplan sí el derecho de repetición del explotador, cuando el accidente nuclear sea producto del actuar u omisión dolosa de un tercero.

Asimismo, ambos instrumentos dejan en manos de los Estados partes el determinar las condiciones en que operarían los seguros en esta materia, sin entrar a establecer prohibiciones en cuanto al contenido de las cláusulas de las pólizas.

Lo mismo sucede en la Ley de Seguridad Nuclear, la que no hace referencia al contenido de las pólizas de seguro en esta materia.

Si bien estas se someten a la autorización de la Comisión, no existe una norma expresa que prohíba o permita tal o cual contenido.

2.4.5.2. Las exclusiones del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional.

En materia de derecho comparado, haremos una referencia al sistema establecido en EEUU. Como ya se ha señalado, este sistema, si bien regula la obligatoriedad del seguro y la objetividad de la responsabilidad del explotador, deja en manos de las legislaciones estatales todo aquello relativo a los aspectos normativos de la responsabilidad civil. Así, se regirán por las normas estatales la causalidad, determinación de los daños reparables, exenciones, etc.

A fin de evitar que los explotadores, a efectos de eximirse de responsabilidad, hagan valer defensas disponibles en las legislaciones estatales, se modificó el Price-Anderson Act, incorporando el concepto de Evento Nuclear Extraordinario, el que, al ser declarado, inhabilita al responsable (explotador) de hacer valer ciertas defensas.

En la práctica esto se traduce en la renuncia que debe hacer el explotador de ciertas alegaciones o defensas, en el caso que la autoridad determine que el accidente nuclear es un evento nuclear extraordinario. Así lo han entendido las compañías aseguradoras incorporando esta renuncia en sus pólizas.

Por su parte, como ya ha sido expuesto, el sistema francés introduce correctivos en sus derecho positivo para evitar conductas abusivas de las compañías en la redacción de las pólizas

2.4.5.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de exclusiones del seguro privado

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- El primer punto es si existe la posibilidad de **establecer exclusiones** en las pólizas de seguros de responsabilidad civil.

  Mientras no exista una regulación sistemática y uniforme tanto en la responsabilidad civil en general como en la responsabilidad civil nuclear, es muy factible que las compañías de seguros incorporen cláusulas de exclusión.

Sin embargo, el propender a la protección de la víctima parece fundamental en esta materia, lo que lleva a concluir la necesidad de estudiar ciertas prohibiciones a las aseguradoras, de incluir cláusulas que claramente perjudican injustamente a las víctimas.

- Ahora bien, de contemplarse, ¿qué tipo de exclusiones de la cobertura podrían permitirse? Más que determinar qué tipo de exclusiones debieran contemplarse, a nuestro entender debiera estudiarse la posibilidad que de existir exclusiones, se incorporen en nuestra legislación los mecanismos para evitar que algunas de ellas priven injustamente de indemnización a las víctimas. Asimismo, es conveniente estudiar el establecer ciertas garantías indemnizatorias en caso que el seguro no opere. Por ejemplo, que el Estado garantice los pagos de compensaciones a las víctimas.

2.4.6. El reaseguro de responsabilidad civil nuclear

En ausencia de un mercado nacional suficientemente amplio como para esperar consorcios de aseguradoras que puedan cubrir los daños comprendidos en las pólizas de responsabilidad civil nuclear (como ocurre en Estados Unidos), pareciera ser un aspecto relevante en la materia la posibilidad de instar, con la regulación del seguro de responsabilidad que se defina, al *reaseguro*.

El reaseguro es un contrato por el que una compañía aseguradora mantiene indemne, a cambio de una prima, a otra compañía de seguros contra todo o parte de las pérdidas que le puedan afectar al hacerse efectivas las obligaciones que mantiene con sus clientes[844].

En término simples, una compañía de seguros celebra un contrato con otra compañía (en este caso, la reaseguradora), para que cubra parte (o la totalidad) del costo del siniestro.

El objetivo del reaseguro es distribuir los riesgos a fin de que no sea una entidad única la que mantenga una carga financiera más allá de su capacidad de pago, lo que otorga una mayor estabilidad y solvencia al asegurador, el que, al hacer frente al pago de indemnizaciones por situaciones catastróficas, que por su entidad requieran un elevado desembolso de dinero, se vean en la imposibilidad de satisfacer a todos los afectados.

[844] Reinsurance Association of America. *Fundamental of Property and Casualty Reinsurance".* Disponible en Internet en http://www.reinsurance.org/files/public/07FundamentalsandGlossary1.pdf

En pocas palabras, el reaseguro evita el riesgo de insolvencia de las aseguradoras, y en esa medida contribuye a otorgar viabilidad al mercado de los seguros de responsabilidad.

En la materia que nos atañe el reaseguro es de gran importancia, por cuanto, como se ha señalado, los accidentes nucleares son de aquellos siniestros cuyas probabilidades de que acontezcan son mínimas pero que por su gravedad generarían catástrofes de gran magnitud y, consecuencialmente, daños de una entidad incuantificable.

Por lo mismo, los seguros que en esta materia se encuentran disponibles son proporcionados por muy pocas compañías, las que a fin de hacer frente a las posibles indemnizaciones que se pudieran generar optan, en la experiencia comparada, por asociarse en "consorcios" de compañías aseguradoras.

En ausencia de consorcios, o en complemento de ellos, el reaseguro opera como un instrumento necesario.

En ese contexto, el reaseguro opera como un mecanismo para que las compañías puedan proveer la cobertura de daños en casos de accidentes nucleares. De esta forma, en el evento de que estos accidentes ocurran, no se ven disminuidas en su capacidad económica al momento del pago de compensaciones.

De esta forma, pueden mencionarse como ventajas o funciones de los reaseguros, entre otras, las siguientes [845] / [846]:

- **Capacidad**. Al mantener reaseguros, la compañía de seguros puede suscribir pólizas por montos más elevados, manteniendo un nivel de riesgos controlables. Esto ayuda a que las compañías aumenten su volumen de negocios.

- **Estabilidad**. El reaseguro ayuda a mantener la estabilidad de los balances financieros de las compañías de seguros, al mantenerlos protegidos de posibles pérdidas inesperadas. Esto estabiliza el mercado del seguro, al repartirse las pérdidas entre una o más reaseguradoras.

- **Protección contra catástrofes**. El reaseguro proporciona protección contra pérdidas catastróficas, lo que se puede dar de dos formas. Primero, protegiendo contra pérdidas financieras catastróficas como resultado de un

[845] Patrik Gary, "Syllabus of Basic Education", *Chapter 7 Reinsurance*, 2010 Disponible en Internet en http://www.casact.org/admissions/syllabus/ch7.pdf
[846] Reinsurance Association of America. *Fundamental of Property and Casualty Reinsurance".* Disponible en Internet en http://www.reinsurance.org/files/public/07FundamentalsandGlossary1.pdf

único siniestro. Segundo, protegiendo en la acumulación de múltiples pequeñas demandas resultante de un único siniestro que afecta a múltiples asegurados.

A continuación analizaremos el reaseguro en el derecho internacional **(2.4.6.1.)** y comparado **(2.4.6.2.)**, para luego referirnos a los vacíos y contradicciones **(2.4.6.3.)**.

2.4.6.1. El reaseguro de responsabilidad civil nuclear en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional.

En lo que respecta a los Tratados, tanto la Convención de Viena como el Convenio de París nombra el reaseguro como una de las formas de garantizar el pago de las compensaciones, a través de la obligación de los explotadores de mantener vigentes seguros de responsabilidad por daños nucleares, sin hacer un tratamiento especifico de qué es o cómo puede operar en esta materia.

Lo mismo sucede en nuestro país, que no regula particularmente esta materia como se verá más adelante.

2.4.6.2. El reaseguro de responsabilidad civil nuclear en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Como se ha señalado en otras oportunidades, Francia ha asumido el contenido del Convenio de París en su derecho interno. Sin embargo, cuenta con el Decreto Nº 73-322[847] de 15 de Marzo de 1973, que regula el seguro y reaseguro de riesgos excepcionales y nucleares por la *Caisse Centrale de Reassurance.*[848]

Esta normativa autoriza a la *Caisse Centrale de Reassurance* a cubrir, mediante seguros o reaseguros, garantizados por el Estado, los riesgos por los cuales los operadores de buques nucleares o de instalaciones nucleares puedan ser responsables y por los que se otorgue una compensación adicional por el Gobierno, en virtud de la ley de responsabilidad nuclear.

Adicionalmente, este Decreto crea una Comisión de cobertura de riesgos excepcionales y nucleares, la que bajo el alero de la *Caisse* asesora a entidades en la

[847] http://www.nea.fr/html/law/nlb/NLB-11-EN.pdf
[848] Caisse Centrale de Reassurance es una sociedad de responsabilidad limitada que en un principio fue creada como una compañía de propiedad estatal de carácter comercial para facilitar el control de la industria del seguro y para promover la cobertura de ciertos riesgos mediante la provisión de operaciones de reaseguro. Actualmente mantiene un convenio con el gobierno francés, el cual garantiza los reaseguros de ciertos riesgos cubiertos por la Caisse Centrale de Reassurance. A este respecto consultar http://www.ccr.fr/index.do?fid=1557851382829023455

redacción de pólizas de seguro de responsabilidad civil nuclear y tarifas, como asimismo al Ministerio de Economía y Finanzas.

En cuanto a Estados Unidos, el hecho de que quienes proporcionan seguros de responsabilidad civil nuclear se agrupen en grandes consorcios como son la ANI no ha dado lugar a que se regule en particular el reaseguro de estas contingencias, por cuanto, como ya se ha visto en la práctica[849], los seguros primarios y secundarios obligatorios por el Price-Anderson Act han funcionado bien al momento de compensar a las víctimas. Pero esto es viable por el tamaño de su economía y número de plantas y aseguradores.

Por su parte, Japón, en su legislación relativa a la responsabilidad civil nuclear, no hace referencia al reaseguro.

A diferencia de Francia, quien respecto a lo señalado en los párrafos anteriores, es el país que más adelantado se encuentra sobre reaseguros en materia nuclear, Chile sólo se refiere en general al reaseguro, sometiéndolo a las normas del seguro, tanto en cuanto a su aplicación como a las entidades autorizadas para llevarlo a cabo, como se expone en el siguiente apartado.

2.4.6.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de reaseguros de responsabilidad civil nuclear

Tal como se ha señalado en otros pasajes de este informe, en el derecho nacional no existe una regulación sistemática del seguro de responsabilidad civil. Lo mismo sucede en materia de nuclear, pues la ley especial resulta insuficiente.

En la legislación vigente común en materia de seguros encontramos el DFL N°251 de 1931, Ley de Seguros, que establece como una de las funciones de la Superintendencia de Valores y Seguros el autorizar la existencia de sociedades anónimas de seguros y reaseguros, por lo que las compañías de reaseguros se rigen por las mismas normas que regulan a las compañías de seguro y quedan sometidas a la fiscalización de la SVS.

El DFL N°251 que rige los seguros, establece que el reaseguro de los contratos celebrados en Chile debe hacerse con compañías de seguros y de reaseguros constituidas en Chile autorizadas para operar en el país. Igualmente se faculta a las entidades extranjeras de reaseguros para operar en Chile, siempre que éstas se

[849] A este respecto en EEUU se produjo el incidente denominado "Three Mile Island", incidente que aconteció precisamente en la ciudad del mismo nombre, en el Estado de Pensilvania, el cual si bien no llego a convertirse en un accidente de grandes proporciones, generó una serie de demandas, siendo las victimas compensadas por la aseguradora, siendo suficiente el seguro primario obligatorio para hacer frente a las compensaciones pagadas.

encuentren clasificadas por agencias clasificadoras de riesgo, de reconocido prestigio internacional a juicio de la Superintendencia, en a lo menos categoría de riesgo BBB o su equivalente; y, designen un representante en Chile o bien operen a través de corredor de reaseguro inscrito en la SVS[850].

Una norma importante contenida en el DFL N°251 establece que "*El reaseguro no altera en nada el contrato celebrado entre el asegurador directo y el asegurado, y su pago, en caso de siniestro, no podrá diferirse a pretexto del reaseguro*."[851], con lo que el asegurador directo no puede excusarse del pago de las compensaciones debidas por el no cumplimiento de las reaseguradoras.

Atendido que el reaseguro, en nuestro derecho, se rige por las mismas normas del seguro, no se contemplan incentivos especiales para la constitución de sociedades anónimas de reaseguro.

Establecer ciertos incentivos para compañías de reaseguros ayudaría a la proliferación de las mismas en nuestro país. Si bien es posible acceder a reaseguros en el extranjero, siempre que se cumpla con lo establecido en el DFL que rige la materia, tampoco se establecen incentivos a las empresas extranjeras de reaseguros para que operen en Chile.

Por lo demás, esta normativa claramente es de carácter general en materia de seguros, no encontrando nada en nuestra legislación que se refiera en particular a la materia tratada por este informe.

Como se ha señalado, pareciera necesaria la existencia de una normativa especial en materia de seguros de responsabilidad civil nuclear, que a su vez también facilite los reaseguros, promoviendo así que compañías de seguros que operan en Chile puedan proveer de cobertura por responsabilidad nuclear al distribuir los riesgos que estas puedan asumir.

Un estatuto claro del seguro de responsabilidad civil nuclear –actualmente inexistente en el derecho vigente-, es sin duda un incentivo al reaseguro.

3. Garantías estatales y fondos públicos

Las garantías estatales y los fondos públicos internacionales consisten en mecanismos adicionales de cobertura de los posibles daños derivados de accidentes nucleares.

[850] Articulo 16, DFL 251 de 1931.
[851] Articulo 28, DFL 251 de 1931.

Dado que tanto los seguros como las garantías estatales y los fondos internacionales resultan aplicables a la mima clase de daños que se describieron en el apartado destinado a los seguros, no nos referiremos a ese aspecto en este punto.

En cambio, trataremos las particularidades que las garantías estatales y los fondos internacionales presentan como mecanismo de respaldo de los riesgos, que provienen de su particular regulación.

En esencia, los instrumentos internacionales que han definido los contornos de estos mecanismos son textos redactados exclusivamente para ese fin y que son complementarios a los instrumentos internacionales básicos en la materia.

3.1. Descripción de las Convenciones Internacionales

La implementación y regulación de sistemas de garantías estatales y fondos públicos internacionales complementarios a la responsabilidad del explotador por daños nucleares, ha sido objeto de dos instrumentos internacionales.

Estos son:

- Convenio de Bruselas Complementario al Convenio de París (CB)

- Convención de 1997 sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares (CIS)

El Convenio de Bruselas Complementario, como su nombre indica, complementa al Convenio de París, mediante el establecimiento de garantías estatales y fondos públicos internacionales, adicionales a las formas de cobertura de la responsabilidad derivada de hechos vinculados con la explotación y transporte de sustancias nucleares.

A su vez, resulta necesario tener presente que esta Convención ha sido objeto de diversas modificaciones, las cuales se han efectuado de forma paralela a las modificaciones introducidas al Convenio de París. Por tanto, el análisis que se realiza en esta sección se refiere a la versión vigente de 1982. Adicionalmente, existe un Protocolo de Enmienda del año 2004, el cual no ha entrado en vigencia, pero será de todas maneras abordado en el análisis cuando corresponda.

Respecto de la Convención sobre Indemnización Suplementaria (CIS), cabe señalar en primer término que, ésta propone un régimen, basado en principios similares a los de

la Convención de Viena, el Convenio de París y el Convenio de Bruselas, pero particularmente autónomos y flexibles[852].

En efecto, esta Convención tiene como finalidad servir como marco regulatorio común en materia de responsabilidad civil por daños nucleares a países parte de la Convención de Viena o del Convenio de París, o incluso a países que no sean parte de ninguno de estos instrumentos, en razón de la particularidad de sus legislaciones internas, como por ejemplo Estados Unidos.

Así, la flexibilidad de la normativa contenida en esta Convención se expresa en la amplia formulación del deber de cobertura, el cual tiene más bien el carácter de compromiso del Estado parte, antes que de regulación de las actividades particulares vinculadas a energía nuclear.

En consecuencia, nada se dice en la Convención sobre Indemnización suplementaria sobre el mínimo del monto a cubrir por el seguro u otra garantía financiera, de modo tal que cada Estado parte puede decidir cuánto de la carga de aseguramiento de los riesgos derivados de incidentes nucleares asume el explotador y cuanto el Estado mismo.

A continuación, se analizarán las disposiciones contenidas en ambos instrumentos, que determinan las características del régimen complementario establecido por cada uno de ellos. Para estos efectos, los elementos de análisis serán los siguientes: Ámbito de aplicación **(3.1.1.);** Límites de la cobertura provista por las garantías estatales y los fondos públicos **(3.1.2.)** Conformación de fondos públicos internacionales **(3.1.3.)**.

Por último, se incorpora en esta sección las correspondientes referencias a las disposiciones de la Enmienda al Convenio de París y de la Convención de Viena, que regulan algunos supuestos de aplicación de garantías estatales **(3.1.4.).**

3.1.1. Ámbito de aplicación

3.1.1.1. Convenio de Bruselas Complementario al Convenio de París

El régimen de garantías estatales y fondos públicos internacionales establecido por el Convenio de Bruselas tiene un ámbito de aplicación más restringido que el establecido en el Convenio de París[853]. En efecto, éste resulta únicamente aplicable respecto de incidentes nucleares originados en una instalación nuclear de uso pacífico situada en el territorio de una Parte contratante, que afecte el territorio, las zonas marítimas, o la zona económica exclusiva de una Estado parte.

[852] *Ibídem*. Parte sobre Regímenes de Responsabilidad, Descripción de los Convenios Internacionales.
[853] *Ibídem*. Parte relativa a los regímenes de responsabilidad

Esta limitación en cuanto a su aplicación, parece ser una consecuencia del objeto de este Convenio, esto es, disponer de un fondo solidario que beneficie exclusivamente a aquellos Estados parte de este instrumento que contribuyen a tal fondo.

3.1.1.2. Convención de 1997 sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares

En cuanto al ámbito normativo, esta Convención resulta aplicable, de acuerdo al artículo II.1.a) a los Estados partes que de acuerdo a su derecho nacional apliquen el Convenio de París o de la Convención de Viena.

De acuerdo al literal b) de la misma disposición indicada precedentemente esta Convención es también aplicable a aquellos Estados en los cuales, con arreglo a derecho interno, ninguno de los instrumentos internacionales resulte aplicable, pero que no obstante cumpla con lo preceptuado en el anexo de la Convención sobre Indemnización Suplementaria[854].

Por su parte, el sistema de la Convención sobre Indemnización Suplementaria, de acuerdo al artículo II 2., es aplicable a los daños nucleares respecto de los cuales el explotador de una instalación nuclear, utilizada con fines pacíficos y situada en el territorio de una Parte Contratante, sea responsable con arreglo a la Convención o al Convenio que se mencionan en el artículo I o al derecho nacional mencionado en el apartado b) del párrafo 1 del presente artículo.

3.1.2. Límites de la cobertura provista por las garantías estatales y los fondos públicos

3.1.2.1. Convenio de Bruselas Complementario al Convenio de París.

3.1.2.1.1. Texto vigente

El Convenio de Bruselas, en su artículo 3º establece que los Estado Parte deben comprometerse a que la reparación de los daños nucleares se efectúe hasta una cuantía de aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG).

Para estos efectos, el Convenio dispone que la reparación se realice de acuerdo a las siguientes reglas:

[854] El anexo de dicha Convención contiene los principios en materia de responsabilidad civil originada en un incidente nuclear contenidos tanto en el Convenio de París, así como en la Convención de Viena.

- Hasta una cuantía al menos igual a, aproximadamente, US $ 8 millones (5 millones de DEG), mediante fondos provenientes de un seguro u otra garantía financiera, de acuerdo a la legislación del Estado parte en cuyo territorio esté situada la instalación nuclear del explotador responsable.

- Entre la cuantía de aproximadamente US $ 8 millones (5 millones de DEG) y aproximadamente US $ 280 millones (175 millones de DEG), mediante fondos públicos que aportara la Parte Contratante en cuyo territorio esté situada la instalación del explotador responsable;

- Entre aproximadamente US $ 280 millones (175 millones de DEG) y aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG), mediante fondos públicos aportados por los Estados parte.

Asimismo, este artículo 3 dispone que para efectos de garantizar el pago de los montos señalados precedentemente, los Estados parte pueden establecer a través de su legislación nacional que la responsabilidad civil del explotador no sea inferior a aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG), y que esta responsabilidad sea cubierta con los fondos públicos ya mencionados. La segunda posibilidad es que los Estados parte limiten la responsabilidad del explotador al monto máximo de aproximadamente US $ 8 millones (5 millones de DEG) y disponer que por sobre tal cuantía y hasta aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG) se aporten a título distinto de cobertura del explotador.

3.1.2.1.2. Enmienda de 2004 al Convenio de Bruselas

El contenido del artículo 3 del Convenio de Bruselas no se ve alterado por la Enmienda de 2004, sino en cuanto a aumentos significativos de los montos de cobertura. En efecto, los tramos de cobertura pasan a ser los siguientes:

- **Seguros.** Hasta una cuantía al menos igual a 700 millones de Euros.

- **Garantía Estatal.** Entre 700 millones y 1200 millones de Euros.

- **Fondos Públicos.** Entre 1200 millones y 1 500 millones de Euros.

3.1.2.2. Convención de 1997 sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares (CIS)

En esta convención se establece la suma equivalente a aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG) como el importe minino que un país debe poner a

disposición en el marco de su legislación nacional, mediante seguros o garantías estatales, para el pago de indemnizaciones por daños nucleares.

Sin perjuicio de ello, cabe mencionar que en el mismo sentido del Protocolo de Bruselas, la Convención sobre Indemnización Suplementaria también contiene una cláusula de reducción transitoria del límite de cobertura. En efecto, indica en su artículo III.1.a) ii., que las Partes Contratantes pueden establecer, por un máximo de diez años a contar de la fecha de apertura a la firma del instrumento internacional, un importe transitorio de por lo menos 150 millones de DEG con respecto a un incidente nuclear que ocurra dentro de ese período. Dada la fecha de apertura a la firma de este instrumento, 29 de septiembre de 1997, el plazo especial para reducción se encuentra ya extinguido.

Además, la CIS prevé un fondo internacional para complementar la cuantía de indemnización disponible. Este fondo se forma a partir de contribuciones que los países miembros de la ONU deben realizar. La fórmula mediante la cual se determina el monto a aportar por cada país permite que más del noventa por ciento de las contribuciones provengan de países de energía nucleoeléctrica que aportan según su capacidad nuclear instalada[855].

3.1.3. Conformación de fondos públicos internacionales

3.1.3.1. Convenio de Bruselas Complementario al Convenio de París

3.1.3.1.1. Texto vigente

De acuerdo a lo señalado por el artículo 12 del Convenio de Bruselas, la clave de reparto entre los Estados parte, para la constitución de los fondos públicos, se calcula de la siguiente manera:

- Un 50% sobre la base de la relación existente entre el producto interior bruto a los precios corrientes de cada Estado parte y el total del producto interno bruto a los precios corrientes de todos los Estados parte, tal como resulten de la estadística oficial publicada por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico para el año precedente a aquel en que ocurrió el accidente nuclear;

- El 50% sobre la base de la relación existente entre la potencia térmica de los reactores situados en el territorio de cada Estado parte y la potencia térmica total de los reactores situados sobre los territorios de todas los Estados parte. El cálculo será efectuado sobre la base de la potencia térmica de los reactores

[855] Panorámica del régimen de responsabilidad modernizado del OIEA, en http://bit.ly/aUy5Oz (última visita 29/11/09).

que figuraban en la fecha del accidente en las listas previstas en el artículo 2.a) de la misma Convención. No obstante, se indica que un reactor sólo será tomado en consideración para dicho cálculo a partir de la fecha en la que hubiera alcanzado, por primera vez, la criticidad.

3.1.3.1.2. Protocolo de Enmienda de 2004

El Protocolo de Enmienda de 2004 introduce modificaciones en la clave de reparto, asignando nuevos pesos específicos a cada uno de los factores, dejando en lo demás inalterada la norma.

Esto último salvo la incorporación al final del numeral segundo referido a las características de un reactor para ser considerado en la base de cálculo, respecto a lo cual se agrega que un reactor no será tomado en consideración para el cálculo, en caso que todos los combustibles nucleares hayan sido retirados definitivamente del núcleo del reactor y hayan sido almacenados de forma segura conforme a procedimientos aprobados.

En cuanto a los porcentajes, el Protocolo de Enmienda asigna a las relaciones de producto interno bruto sólo un 35% en la clave de reparto, mientras que la potencia térmica tiene un 65% de incidencia.

3.1.3.2. Convención de 1997 sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares (CIS)

De acuerdo a la Convención sobre Indemnización Suplementaria la fórmula de las contribuciones con arreglo a la cual las Partes Contratantes aportarán los fondos públicos a que se hace referencia en el apartado b) del párrafo 1 del artículo III se determinará de la manera siguiente:

- La cantidad que sea el producto de la potencia nuclear instalada del Estado parte, multiplicada por 300 DEG por unidad de potencia instalada; y

- La cantidad determinada mediante la aplicación de la razón entre la tasa de prorrateo de la cuota de las Naciones Unidas correspondiente a esa Parte Contratante calculada para el año anterior al año en que haya ocurrido el incidente nuclear y el total de las tasas de prorrateo correspondientes a todas las Partes Contratantes al 10% de la suma de las cantidades calculadas con respecto a todas las Partes Contratantes de acuerdo con el inciso i).

Se indica asimismo, que sin perjuicio de lo dispuesto en el párrafo siguiente, la contribución de cada Parte Contratante será la suma de las cantidades a que se hace referencia en los incisos i) y ii) del apartado a), siempre que los Estados que tengan la tasa mínima de prorrateo de la cuota de las Naciones Unidas que no posean reactores nucleares, no estén obligados a hacer contribuciones.

En todo caso, la contribución máxima que puede cargarse por incidente nuclear a cualquier Parte Contratante, que no sea el Estado de la instalación, con arreglo al párrafo anterior, no puede exceder del porcentaje que con relación a ella se haya especificado de las contribuciones totales de todos las Estados parte, determinadas con arreglo al párrafo precedente.

De igual manera, con respecto a una Parte Contratante en particular, el porcentaje especificado será su tasa de prorrateo de la cuota de las Naciones Unidas expresada en porcentaje más 8 puntos porcentuales. Si en el momento en que ocurra un incidente la potencia total instalada de las Partes en la Convención sobre Indemnización Suplementaria tuviere una cuantía de 625.000 unidades o más, este porcentaje se aumentará en un punto porcentual. El porcentaje se aumentará en otro punto porcentual por cada incremento de 75.000 unidades por encima de la potencia de 625.000 unidades.

En cuanto a la fórmula por cada reactor nuclear situado en el territorio del Estado parte, esta es de 1 unidad por cada MW de potencia térmica. La fórmula se calculará sobre la base de la potencia térmica de los reactores nucleares que consten a la fecha del incidente nuclear en la lista elaborada y mantenida al día de acuerdo con el artículo VIII de la misma Convención.

En cuanto a las especificaciones de los reactores nucleares para calcular las contribuciones, estos se tendrán en cuenta a partir de la fecha en que en él se hayan cargado por primera vez elementos de combustible nuclear. Al igual que en la Enmienda a la Convención de Bruselas, se establece que un reactor nuclear queda excluido del cálculo, cuando todos los elementos combustibles se hayan extraído definitivamente del núcleo del reactor y hayan sido almacenados en condiciones de seguridad conforme a los procedimientos aprobados.

3.1.4. Reglas de la Convención de Viena y de la Enmienda al Convenio de París

Tanto la Enmienda al Convenio de París, así como la Convención de Viena presentan algunas disposiciones relativas a las garantías estatales que deben ser mencionadas para comprender a cabalidad los alcances y forma de operación de estos mecanismos de cobertura.

3.1.4.1. Convención de Viena

En este instrumento se indica, en su artículo VII nº1, que el Estado de la instalación garantizará el pago correspondiente a las demandas de indemnización de daños nucleares que se hayan entablado contra el explotador, en la medida en que el producto de la garantía financiera sea insuficiente para satisfacer dichas demandas, pero sin rebasar el importe de la garantía financiera que haya de darse de conformidad con ese instrumento.

La norma se mantiene inalterada en los mismos términos en el texto de la Enmienda a la Convención de Viena.

3.1.4.2. Enmienda al Convenio de París

En su modificación del artículo 10 introduce un literal c), el cual establece que Estado parte en cuyo territorio esté situada la instalación nuclear del explotador responsable, debe asegurar el pago de las indemnizaciones de los daños nucleares que hayan sido imputados al explotador, aportando los fondos necesarios. Ello en la medida en que el seguro u otra garantía financiera no esté disponible o sea insuficiente para pagar las indemnizaciones, hasta una cantidad que no podrá ser inferior a la cuantía establecida en el artículo 7(a) de 700 millones de Euros.

3.2. Análisis de los sistemas jurídicos comparados

Al igual que en materia de responsabilidad y seguro, y por las razones ya expuestas en esos capítulos y que no se repetirán en esta síntesis, analizáremos los casos de Francia **(3.2.1.)**; Estados Unidos **(3.2.2.);** y Japón **(3.2.3.)**.

3.2.1. Garantía estatal y fondos públicos en Francia

3.2.1.1. La indemnización del Estado

El sistema de indemnización en materia de responsabilidad civil por daños nucleares está organizado en diversos niveles de cobertura. En efecto, como se ha indicado, el régimen jurídico francés interno recoge las disposiciones previstas por el Convenio de Bruselas.

La responsabilidad del explotador mediante seguros u otras garantías financieras, constituye sólo el primer nivel de cobertura frente a incidentes nucleares. En efecto, el

Convenio de Bruselas creó dos mecanismos adicionales, para asegurar las indemnizaciones, el primero de ellos consistente en garantías estatales[856].

De este modo, el artículo 5 de la ley N°68-943 dispone que los daños sufridos por las victimas que superen el límite de la responsabilidad del explotador, serán indemnizados por el Estado en las condiciones establecidas por el Convenio de Bruselas.

Adicionalmente, el artículo 8 de la Ley N° 68-943 dispone una garantía estatal de carácter subsidiario, tal como lo señala expresamente la norma. Se indica que en caso que las víctimas no puedan obtener del asegurador, de la persona que haya constituido la garantía financiera o del explotador, la reparación de los daños, la carga de ésta será asumida por el Estado concurriendo al monto indicado en el artículo 4 de la ley, es decir, hasta 700 millones de Euros.

3.2.1.2. La indemnización por fondos internacionales

El Fondo Internacional creado por el Convenio de Bruselas[857], se hace cargo de las indemnizaciones que superen 1,2 millares de Euros, hasta un monto máximo de 1,5 millares de Euros.

3.2.2. Garantías Estatales en Estados Unidos

3.2.2.1. La indemnización del Estado

Originalmente en 1957, los montos pagados por concepto de responsabilidad civil para las plantas nucleares eran compartidos en parte por los consorcios de seguros nucleares y el Gobierno Estadounidense. En esos años, la protección primaria financiera ofrecida en el mercado era de 60 millones de dólares, existiendo además una indemnización disponible ascendiente a 500 millones de dólares proporcionada por el Gobierno en caso de accidente nuclear civil. Con el transcurso de los años, la parte que le correspondía a los seguros privados fue aumentando gradualmente y la responsabilidad del gobierno de financiar las indemnizaciones fue desapareciendo al punto que en la actualidad la cobertura del gobierno ha sido reemplazada en su totalidad por los seguros secundarios.

Actualmente, el único caso en que interviene el gobierno es en el evento que tanto el seguro primario y secundario sean insuficientes para cubrir la avaluación de los daños producidos, caso en el cual corresponderá al Congreso determinar la asignación de fondos, a petición de la NRC, para cubrir los montos que excedan la cobertura del

[856] Artículo 3.b del Convenio de Bruselas.
[857] Financiamiento descrito en su artículo 12.

seguro primario y secundario, o bien mediante la aprobación de fondos de compensación, previa indicación del Presidente.

En todo caso, la intervención gubernamental es excepcionalísima, encontrándose en manos del mercado la cobertura de los daños producidos.

3.2.2.2. La indemnización por Fondos Internacionales

Los Estados Unidos no han ratificado tratados internacionales como el Convenio de París de 1960 o la Convención de Viena de 1963, debido a que ello implicaría cambios fundamentales al Price-Anderson Act. Sin embargo, en Diciembre de 2007, ratificó la Convención sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares de 1997, al no implicar su ratificación cambios significativos en el Price-Anderson Act.

Conforme esta Convención cada Estado parte está obligado a establecer un sistema de compensación para daños nucleares consistente en dos niveles.

Bajo el primer nivel, el estado parte debe asegurar un fondo indemnizatorio de un mínimo de 300 millones de dólares, lo cual se cumple íntegramente con lo prescrito actualmente por el Price-Anderson Act.

Bajo el segundo nivel, los estados partes deben hacer disponibles fondos públicos de acuerdo a una formula establecida en la Convención, a fin de compensar los daños nucleares en el evento que la primera capa de protección sea agotada.

3.2.3. Garantías Estatales en Japón

3.2.3.1. La indemnización del Estado

Como se señaló previamente, existe la posibilidad para el operador de celebrar acuerdos con el Gobierno, por el cual este ultimo, a cambio de un honorario anual, asume los montos por indemnización no cubiertos por el seguro privado obligatorio.

Estos acuerdos se suscriben con el objeto que el Gobierno indemnice a los operadores, con los cuales ha suscrito los acuerdos, por las perdidas provenientes del pago de compensaciones por daños nucleares por montos que excedan la cobertura del seguro obligatorio que debe mantener el operador de acuerdo a la Ley de Compensación.

En esta materia, Japón dispone de la Ley sobre Acuerdos Indemnizatorios por Compensación de Daños Nucleares de 1961 (en adelante “Ley sobre Acuerdos Indemnizatorios”), la cual señala pautas sobre las cuales deben versar dichos acuerdos y requisitos para que proceda la indemnización por parte del Estado.

La sección 3 de la Ley sobre Acuerdos Indemnizatorios establece las situaciones en las cuales el Gobierno indemnizaría al operador, señalando que la perdida a compensar por el Gobierno debe provenir de daño nuclear producido en los siguientes casos:

- Daño nuclear producto de un terremoto o erupción;

- Daño nuclear producto de la operación normal de la instalación;

- Daño nuclear cubierto por un contrato de seguro de responsabilidad, pero que las victimas de dicho daño no han reclamado indemnización dentro de un plazo de 10 años desde la fecha del evento generador del daño (en este caso, sólo se acepta una razón justificada por la cual no se reclamó la compensación en periodo indicado);

- Daño nuclear producto de la visita de un buque nuclear en aguas extranjeras, pero que no puede ser cubierto por la protección financiera u otros acuerdos de compensación por daños nucleares de acuerdo a la sección 7-1 de la Ley de Compensación por Daños Nucleares;

- Daño nuclear determinado en una Ordenanza Ministerial distinto al mencionado en los puntos anteriores.[858]

En cuanto a los montos a indemnizar sobre los que debe versar el Acuerdo suscrito entre el Gobierno y el operador, la sección 4 de la Ley sobre Acuerdos Indemnizatorios establece que en lo que respecta a la cobertura por los daños ocasionados producto de los hechos señalados en las letras a) a c) y e) del párrafo anterior, el monto del acuerdo suscrito debe ser igual al monto establecido en la Ley de Compensación para el seguro obligatorio que debe mantener el operador.

En lo que respecta a la cobertura por los daños ocasionados producto de los hechos señalados en la letra d) del párrafo anterior, el monto sobre el que debe versar el acuerdo suscrito será aquel monto por el cual se ha suscrito un acuerdo entre el Gobierno Japonés y el Gobierno del país extranjero a cuyas aguas el buque ingrese, de acuerdo a las disposiciones del la Ley de Compensación.[859]

---

[858] Ley sobre Acuerdos Indemnizatorios por Compensación de Daños Nucleares de 1961. http://www.oecdnea.org/html/law/nlb/NLB-45-SUP.pdf

[859] La Sección 7-2 de la Ley de Compensación Japonesa establece que en el caso que un operador nuclear quiera que un buque o barco nuclear ingresé a aguas extrajeras (territorio marítimo), la protección financiera a proveer será mediante un contrato de seguro y un acuerdo indemnizatorio, aprobados por la Agencia de Ciencia y Tecnología, por los montos acordados entre el Gobierno Japonés

En cuanto a la duración de estos acuerdos, la Ley sobre Acuerdos Indemnizatorios establece que la vigencia de dichos acuerdos será desde el momento de suscripción del acuerdo hasta el momento en que la instalación nuclear deje de operar, salvo en cuanto se trate de un acuerdo relativo a un buque nuclear. En tal caso el acuerdo tendrá una vigencia contada desde el momento en que la nave deje el territorio marítimo japonés hasta el momento en que la nave arribe en territorio marítimo Japonés.

En todo caso, el derecho a percibir el pago de la indemnización establecida en la Ley prescribirá a los dos años contados desde que el operador nuclear ha pagado la respectiva compensación a terceros por los daños nucleares ocasionados.

Asimismo, como se señaló, previa autorización parlamentaria, el Gobierno puede proporcionar ayuda financiera al operador para hacer frente a las indemnizaciones que no fueron cubiertas por el seguro obligatorio.

3.2.3.2. La indemnización por Fondos Internacionales

Al igual que Estados Unidos, Japón no ha adherido al Convenio de París de 1960 o la Convención de Viena de 1963, básicamente porque el nivel de responsabilidad contenido en ellos es considerado insuficiente, como asimismo, el hecho de existir un límite de responsabilidad en dichos instrumentos internacionales entraría en conflicto con el régimen de responsabilidad ilimitada existente en Japón.

3.3. Legislación chilena en materia de garantías estatales y fondos internacionales

En materia de garantías estatales para la explotación de la energía nuclear, la Ley de Seguridad Nuclear se limita a prescribir lo siguiente:

- En primer lugar, establecer como obligatorio la obtención de garantías o seguros (alternativos), por el monto en que se limita su responsabilidad: "*Todo explotador deberá caucionar su responsabilidad mediante la contratación de seguros o la constitución de garantías, por el límite máximo establecido en el artículo 60. … Sólo una vez que acredite el cumplimiento de las exigencias de este artículo, podrá obtener la autorización que lo habilite para la puesta en operación de la instalación nuclear*" (art. 62).

y el Gobierno del país a cuyo territorio marítimo ingresaría el buque, todo de conformidad a los arreglos hechos por el operador nuclear del buque responsable de compensar el daño nuclear eventual.

Cabe tener presente que en la materia se presenta una ambigüedad en la interpretación de la norma, pues no es claro que ella se refiera sólo a las garantías estatales, teniendo en cuenta que en los artículos siguientes también alude a las "garantías financieras", que no son otra cosa que formas de asegurar el pago de la indemnización en el sistema bancario (boletas de garantías, etc.).

- En segundo lugar, somete a la aprobación previa de la Comisión Chilena de Energía Nuclear las garantías estatales: "*El explotador deberá someter a la aprobación previa de la Comisión las condiciones del seguro y la entidad aseguradora, o de las garantías, en su caso…*" (art. 62 inc. 2°).

- En tercer lugar, tal como en el caso de los seguros, una regla de publicidad de la garantía, que obliga al explotador a comunicar por escrito al transportista la existencia y vigencia de la misma "*Para el transporte de sustancias nucleares o materiales radiactivos, el explotador responsable entregará al transportista un certificado del asegurador o de la entidad que haya concedido la garantía, que acredite la vigencia del seguro o garantía*" (art. 64).

- Finalmente, la regla más importante, es la que señala que en ausencia o impedimentos para contratar seguros (como ocurriría, por ejemplo, si no hay compañías interesadas en otorgarlo), es posible recurrir a la garantía del Estado: "*Cuando el explotador no pueda obtener, total o parcialmente, un seguro que cubra su responsabilidad, podrá solicitar la garantía del Estado, y éste podrá concederla, para la parte no cubierta del seguro o para su totalidad. El reglamento determinará la forma y condiciones de esta garantía*" (art. 65).

  Pero tal posibilidad se encuentra redactada como una faculta del Estado, y no como una obligación.

Nótese que la Ley de Seguridad Nuclear se coloca en dos escenarios en esta regla: el primero, cuando la garantía estatal sólo cubre de manera suplementaria lo que no cubra el seguro; y, la segunda, cuando la garantía opera como único respaldo del pago de las indemnizaciones.

Más allá de estas reglas, no existe una regulación sistemática que trate el alcance de la garantía estatal en la materia.

Tampoco existen prácticas de garantías estatales de esta naturaleza en otras áreas de actividad sujetas a riesgos que se asemejen a la prevista en la Ley de Seguridad Nuclear.

Por otra parte, también debe tenerse presente que resultan aplicables en lo pertinente, los Convenios Internacionales ratificados por Chile y que ya fueron analizados en la secciones precedentes.

3.4. Identificación de los puntos críticos, vacíos y contradicciones de la legislación nacional en materia de garantías estatales y fondos internacionales

Una vez revisada las normas vigentes en Chile sobre las garantías estatales, y teniendo presente la exposición de las Convenciones Internacionales y los derechos comparados en la materia contenida en las secciones precedentes, es necesario describir los vacíos y contradicciones[860] que estos informantes han detectado en el marco de las adaptaciones legales necesarias para la introducción de la energía nuclear en Chile.

Como lo señalamos, estos vacíos y contradicciones están vinculados a los aspectos críticos identificados en el informe de avance N°1, y a lo expuesto en detalle sobre el derecho nacional en este informe, por lo que se revisan en el mismo orden: **(3.4.1.)** Ausencia de regulación nacional detallada; **(3.4.2.)** Límites a las garantías estatales (función complementaria); **(3.4.3.)** Falencia del seguro privado y aplicación de la garantía estatal (función subsidiaria); y, **(3.4.4.)** Posible participación de fondos internacionales.

Para cada una de esas secciones, se efectuará una breve remisión a lo previsto en los Convenios Internacionales y en la experiencia comparada seleccionada –evitando toda repetición innecesaria-, para luego abocarse a la explicación de los vacíos y contradicciones.

3.4.1. Ausencia de regulación nacional en materia de garantías estatales y fondos internacionales

En el derecho nacional no existe una regulación sistemática de las garantías estatales. Por su parte, las normas especiales previstas en la Ley de Seguridad Nuclear, resultan insuficientes.

Esto puede generar inconvenientes, y la cuestión crítica en este punto es precisar la necesidad de introducir una regulación esencial de las garantías estatales que, por ejemplo, regule las circunstancias en que es posible apelar a esta garantía (suplemento del seguro, subsidiaria del seguro; etc.).

[860] Repetimos la aquí la misma prevención que se hizo en materia de responsabilidad civil y seguros respecto a la coincidencia de los puntos críticos identificados en el primer informe de avance con los vacíos y contradicciones.

Para analizar estos puntos críticos, vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado más arriba, a lo siguiente: **(3.4.1.1.)** La regulación de las garantías estatales en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(3.4.1.2.)** La regulación de las garantías estatales en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(3.4.1.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de regulación de garantías estatales.

3.4.1.1. La regulación de las garantías estatales y fondos internacionales en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

En los Tratados Internacionales, el Estado está llamado a cumplir un doble rol de garante.

En primer lugar, en la primera capa de responsabilidad, correspondiente al explotador y su asegurador[861], *a priori* el Estado no debiera tener ningún tipo de responsabilidad económica, ya que esta debiera ser asumida por estos actores privados.

No obstante, ambos instrumentos internacionales disponen una responsabilidad subsidiaria para los Estados, en casos en que el seguro no sea suficiente, pero siempre dentro del límite del monto de la responsabilidad que le incumbe al explotador.

En el caso de la Convención de Viena, el artículo VII señala que el Estado en el que se encuentra la instalación debe asegurar el pago de la indemnización de los daños nucleares, otorgando las sumas necesarias, en caso que el seguro o garantía (bancaria) no sea suficiente. El Convenio de París, por su parte, señala en su artículo 10 c)[862], un mecanismo similar al de la Convención de Viena, agregando que también procede en los casos en que el seguro o garantía primaria no "estén disponibles".

Por tanto, este rol de garante asumido por el Estado, es subsidiario a la responsabilidad de los explotadores y aseguradores, y es reconocido como una obligación del Estado parte.

En Chile, la legislación dispone un mecanismo sensiblemente distinto. En efecto, el artículo 65 de la Ley de Seguridad Nuclear señala que en caso en que el explotador no

[861] Según textos enmendados, la primera capa de cobertura correspondiente a la responsabilidad del explotador asciende a 700 millones de Euros en el Convenio de París, y 480 millones de dólares norteamericanos para Viena.
[862] Enmendado.

pueda obtener una cobertura de seguro u otro tipo de garantía que cubra su responsabilidad, podrá solicitar la garantía del Estado, y este podrá concederla.

Como vemos, es una opción de garantía y no una garantía subsidiaria. Es decir, en caso de falencia del seguro, el Estado no vendría a suplir *per se* las insuficiencias del asegurador. Corresponde más bien a un contrato celebrado *ex ante,* sobre la base de las insuficiencias del seguro privado.

En segundo lugar, el Convenio de París ha establecido una segunda capa de indemnización a cargo de los Estados. No es propiamente tal una garantía sino que una cobertura suplementaria de los riesgos, que parte a 700 millones de Euros a 1.200 millones de Euros. La Convención de Viena no establece esta segunda cobertura, y desde luego Chile tampoco.

En cuanto a los fondos internacionales, estos también conciernen únicamente el grupo perteneciente al Convenio de París, y operan de la misma manera que los fondos estatales, como una tercera cobertura suplementaria de riesgos en el tramo que va de 1.200 millones a 1.500 millones[863].

Chile por el momento no tiene acceso a esta tercera cobertura suplementaria.

Como vemos, después de esta síntesis, los Tratados Internacionales reconocen un esquema de regulación que asume y resuelve varios tópicos en materia de garantías estatales.

3.4.1.2. La regulación de las garantías estatales y fondos internacionales en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

En cuanto a los regímenes de derecho comparado, Francia sigue exactamente el mismo esquema antes descrito para el Convenio de París. Vale decir, el Estado garantiza en primer lugar de manera subsidiaria la adecuada indemnización de la primera cobertura correspondiente al explotador y su asegurador. Además, establece una segunda cobertura suplementaria con fondos exclusivamente públicos y, finalmente, se tiene acceso al fondo internacional, que opera como una tercera capa complementaria.

En el caso de Estados Unidos la garantía estatal ha prácticamente desaparecido. En efecto, como se explicó latamente en la sección relativa al derecho comparado, hoy operan solamente los seguros primarios y segundarios que son de orden

[863] Texto enmendado.

estrictamente privados. La única eventualidad en que subsiste una cierta garantía del Estado es en caso en que el seguro primario y segundario sean insuficientes para cubrir las indemnizaciones. En tal caso, la NRC debe solicitar al Congreso la asignación de fondos especiales.

Para entender bien el caso de Japón es necesario recordar algunos elementos fundamentales. En ese país, la responsabilidad del explotador es ilimitada, sólo tiene un límite la cobertura del seguro obligatorio, y el Estado está muy involucrado en el desarrollo de la industria nuclear.

El Estado actúa aquí prácticamente como otro operador más de seguros. En efecto, la Ley sobre Acuerdos Indemnizatorios señala que los explotadores deben celebrar con el Estado acuerdos indemnizatorios, que obligan al Estado a indemnizar al explotador por todos los gastos incurridos por concepto de indemnizaciones no cubiertas por el seguro. Es pertinente mencionar que el Estado no indemniza a las víctimas sino que al explotador, por lo que la responsabilidad debe en primera instancia ser asumida por el explotador, quien podrá solicitar el reembolso al Estado.

Además, tiene un rol más amplio e indeterminado, ya que el Estado tiene la obligación de rembolsar de manera general todo tipo de indemnización que no haya sido cubierta por el seguro.

Japón, al igual que Estados Unidos, no tiene acceso a fondos internacionales.

Chile no tiene en la materia ninguna regulación específica, como ya lo hemos señalado, si no es la facultad del Estado de garantizar subsidiariamente la actividad del explotador.

No existe, por tanto, en el derecho vigente, un estatuto más o menos acabado sobre la materia, cuestión que se presenta como un punto crítico a abordar.

3.4.1.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de regulación de garantías estatales y fondos internacionales

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- En materia de garantías estatales, Chile tiene una norma que establece una especie de garantía estatal incipiente y subsidiaria. No existen otras reglas.

  No obstante, a la luz de los antecedentes aquí recabados, puede ser conveniente ajustar el derecho vigente a las disposiciones de los Tratados

Internacionales, en el sentido que se expuso más arriba, estructurando una regulación básica de las garantías estatales.

- La modificación normativa en la materia debiera tomar en cuenta dos aspectos.

  En primer lugar, la intervención del Estado al nivel de la primera cobertura de riesgos (función subsidiaria) y, en segundo lugar, la eventual cobertura suplementaria de riesgos (función complementaria).

  En lo que concierne la garantía subsidiaria, existen para Chile dos alternativas. La primera es, a la imagen de lo que hace Japón, dejar actuar el Estado como un coasegurador del explotador. La segunda es, como lo hacen los Convenios, establecer una garantía subsidiaria y obligatoria por parte del Estado.

  En lo que concierne el rol del Estado, como garante de una segunda cobertura complementaria, así como el acceso a fondos internacionales, estas decisiones pertenecen más al ámbito de las políticas públicas que deben tomar en cuenta consideraciones presupuestarias.

3.4.2. Límites de las garantías estatales (función complementaria)

Tal como ya se expuso, en la Ley de Seguridad Nuclear el "*límite máximo de la responsabilidad por daños nucleares en que puede incurrir el explotador por cada accidente nuclear, será el equivalente en moneda nacional a la suma de 75 millones de dólares, moneda de Estados Unidos de América, el que se reajustará automáticamente en el porcentaje de la variación de los Derechos Especiales de Giro del Fondo Monetario Internacional, entre la fecha de esta ley y la del accidente nuclear*" (art. 60). Por su parte, el artículo 62 establece el carácter obligatorio de la contratación de una garantía o de seguro de responsabilidad por parte del explotador: "*Todo explotador deberá caucionar su responsabilidad mediante la contratación de seguros o la constitución de* ***garantías****, por el límite máximo establecido en el artículo 60… Sólo una vez que acredite el cumplimiento de las exigencias de este artículo, podrá obtener la autorización que lo habilite para la puesta en operación de la instalación nuclear*".

Los convenios internacionales establecen mínimos de cobertura de garantías estatales complementarias mayores que los nacionales. Asimismo, establecen una cobertura estructurada en capas, en la que los montos de las garantías estatales operan, por regla general, de manera **complementaria** a los seguros privados y, excepcionalmente, de forma **subsidiaria**, cuando éstos fallan o no están presentes en el mercado.

En este subcapítulo se analizará la función "complementaria" de la garantía estatal en relación al seguro privado, dejando el examen de su función "subsidiaria" para el apartado siguiente.

Para analizar estos puntos críticos, vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado a lo desarrollado previamente en este informe y, a lo siguiente: **(3.4.2.1.)** Los límites a las garantías estatales complementarias en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(3.4.2.2.)** Los límites a las garantías estatales complementarias en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(3.4.2.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de límites a las garantías estatales complementarias.

3.4.2.1. Los límites a las garantías estatales complementarias en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Como se expuso en la sección relativa a los Convenios Internacionales, en cuanto a la Convención de Viena, su artículo VII. Nº1, indica que el Estado de la instalación garantizará el pago correspondiente a las demandas de indemnización de daños nucleares que se hayan entablado contra el explotador, en la medida en que el producto de la garantía financiera sea insuficiente para satisfacer dichas demandas, pero sin rebasar el importe de la garantía financiera que haya de darse de conformidad con ese instrumento.

La norma se mantiene inalterada en los mismos términos en el texto de la Enmienda a la Convención de Viena.

Esto es, este instrumento sólo contempla la función "subsidiaria" de las garantías estatales, pero con carácter obligatorio para el Estado donde se encuentra la instalación.

En cuanto al grupo del Convenio de París, esta materia se regula en el Convenio Complementario de Bruselas, y atribuyendo, en esencia, una función complementaria a las garantías estatales.

Este Convenio de Bruselas establece que los Estados parte deben comprometerse a que la reparación de los daños nucleares se efectúe hasta una cuantía de aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG).

Para estos efectos, el Convenio dispone que la reparación se realice de acuerdo a las siguientes reglas:

- Hasta una cuantía al menos igual a, aproximadamente, US $ 8 millones (5 millones de DEG), mediante fondos provenientes de un seguro u otra garantía financiera, de acuerdo a la legislación del Estado parte en cuyo territorio esté situada la instalación nuclear del explotador responsable.

- Entre la cuantía de aproximadamente US $ 8 millones (5 millones de DEG) y aproximadamente US $ 280 millones (175 millones de DEG), mediante fondos públicos que aportará la Parte Contratante en cuyo territorio esté situada la instalación del explotador responsable.

- Entre aproximadamente US $ 280 millones (175 millones de DEG) y aproximadamente US $ 480 millones (300 millones de DEG), mediante fondos públicos aportados por los Estados parte.

Estas reglas del Convenio de Bruselas no se ven alteradas por la Enmienda de 2004, sino en cuanto a aumentos significativos de los montos de cobertura. En efecto, los tramos de cobertura pasan a ser los siguientes:

- **Seguros.** Hasta una cuantía al menos igual a 700 millones de Euros.

- **Garantía Estatal.** Entre 700 millones y 1200 millones de Euros.

- **Fondos Públicos.** Entre 1200 millones y 1 500 millones de Euros.

Por su parte, como se mencionó, el derecho vigente sólo establece la función subsidiaria de los fondos públicos, no se pronuncian sobre esta función complementaria.

3.4.2.2. Los límites a las garantías estatales complementarias en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Respecto el derecho comparado analizado, ya se indicó que en Estados Unidos las coberturas son esencialmente privadas (primarias y secundarias), y que la participación de fondos estatales opera de manera subsidiaria, y requiere la intervención del Congreso.

En Japón, por su parte, tal intervención requiere de un acuerdo previo entre el explotador y el Estado.

El sistema que más se aproxima al nacional es, sin duda, el derecho francés, por las razones que tantas veces se han mencionado. En Francia, el sistema de indemnización en materia de riesgo nuclear civil está organizado en capas, pues siguiendo el Convenio de Bruselas, replicó el sistema ya mencionado.

3.4.2.3. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de límites a las garantías estatales complementarias

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- El primer punto se refiere a la posibilidad de establecer una regulación en Chile de las **garantías estatales complementarias**, y que no sólo tengan una función subsidiaria en caso en que los seguros privados fallen (como actualmente se contempla).

  En tal sentido, habría que poner atención en los montos de cobertura a que obliga el Convenio de París, que ya fueron enunciados. La posibilidad de adherir a ese Convenio, por lo demás, será evocada nuevamente al final de este capítulo.

  Es cierto que se trata de garantías estatales elevadas. Pero ellas, además de ir en directa protección de las víctimas, se complementan en el caso de ese Convenio con fondos internacionales, que resultan interesantes desde la perspectiva nacional. La contribución a esos fondos puede presentarse como razonable dado el tamaño de la matriz energética de nuestro país, y los beneficios considerables.

- El segundo aspecto importante, que deriva del anterior, es la posibilidad de establecer el carácter **obligatorio** de la cobertura del Estado.

  Además de ser un sistema protector de las víctimas, tal medida contribuye a dar viabilidad al mercado de los seguros, en el sentido que garantiza que cruzado ciertos umbrales de reparación será el erario público, y no el seguro, quién asumirá el costo de la catástrofe.

  Razones de solidaridad nacional van incluso en apoyo de esta medida.

  Por último, dado el tamaño del mercado nacional de los seguros y de la eventual explotación nuclear que se introduzca, tampoco es razonable esperar

que tales daños puedan ser asumidos exclusivamente por los privados, como ocurre en Estados Unidos.

3.4.3. Falencia del seguro privado y aplicación de la garantía estatal (función subsidiaria)

Ya se han evocado en secciones anteriores diversas circunstancias en que el seguro privado falla y debe resolverse quién indemniza a las víctimas.

Especificando de mejor forma este punto, y rectificándolo en lo que sea procedente, las hipótesis en que puede plantearse la aplicación subsidiaria de las garantías estatales por falencia del seguro son las siguientes:

- Porque por alguna razón (económica, jurídica, social, etc.) las compañías no están dispuestas a otorgar o renovar la póliza de seguro del explotador, y se requiere que alguien garantice el pago de los daños.

- Porque los seguros privados, a pesar de existir, utilizando alguna causal de exclusión (legítima o cuestionable) han evadido el pago de la cobertura a las víctimas.

- Porque los seguros privados, frente al pago de indemnización cuantiosas, resulten en insolvencia.

En todas estas hipótesis lo importante es determinar si el Estado garantizará esa cobertura de manera supletoria o subsidiaria a los privados, si se encuentra obligado a hacerla y bajo qué condiciones.

Para analizar estos puntos críticos, vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado las secciones relativas a los Convenios Internacionales y derecho comparado y, a lo siguiente: **(3.4.3.1.)** La falencia del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; **(3.4.3.2.)** La falencia del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional; y, **(3.4.3.3.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de falencia de los seguros privados.

3.4.3.1. La falencia del seguro privado en los Tratados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

Tanto la Enmienda al Convenio de París, así como la Convención de Viena, presentan algunas disposiciones relativas a las garantías estatales subsidiarias que conviene recordar:

- En la Convención de Viena, el artículo VII. nº1, se prescribe que el Estado de la instalación garantizará el pago correspondiente a las demandas de indemnización de daños nucleares que se hayan entablado contra el explotador, en la medida en que el producto de la garantía financiera sea insuficiente para satisfacer dichas demandas, pero sin rebasar el importe de la garantía financiera que haya de darse de conformidad con ese instrumento.

- Asimismo, en la enmienda al Convenio de París, artículo 10 literal c), se establece que el Estado parte en cuyo territorio esté situada la instalación nuclear del explotador responsable, debe asegurar el pago de las indemnizaciones de los daños nucleares que hayan sido imputados al explotador, aportando los fondos necesarios. Ello en la medida en que el seguro u otra garantía financiera no esté disponible o sea insuficiente para pagar las indemnizaciones, hasta una cantidad que no podrá ser inferior a la cuantía establecida en el artículo 7(*a*) de 700 millones de Euros.

Por su parte, la Ley de Seguridad Nuclear establece, en su artículo 65, que el Estado "puede" otorgar estas garantías subsidiarias en caso de que existan falencias en los seguros privados, pero la ausencia de la dictación del reglamento que esa disposición alude la hace inoperante.

3.4.3.2. La falencia del seguro privado en los sistemas comparados analizados, con acento en las diferencias y cercanías con la legislación nacional

En la materia el derecho francés repite la regla del Convenio de París.

Por su parte, tanto en Estados Unidos como en Japón, la garantía estatal es esencialmente subsidiaria, pero requiere una intervención previa de un acto administrativo o legislativo.

3.4.3.3. Los puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de falencia de los seguros privados

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- El primer punto es si conviene regular de manera **sistemática la función subsidiaria** de la garantía estatal, señalando en qué hipótesis procede: ausencia de seguros; al haber operado exclusiones; y, ante la insolvencia de los aseguradores. El argumento de protección a las víctimas es un fuerte argumento en este sentido.

- El segundo punto es la necesidad de, operada la garantía subsidiaria, procede otorgar al Estado la **acción de repetición** contra el asegurador en insolvencia o que ha culpablemente omitido el pago de la cobertura.

  Esto podría al menos compensar en parte las sumas concedidas, así como incorporar un incentivo para evitar eventuales abusos de las compañías aseguradoras.

  Por lo demás, ello no es más que la aplicación de las reglas del derecho civil común.

3.4.4. Posible participación de fondos internacionales

La materia que se aborda en este subtítulo tiene relación con las consecuencias que pueden derivarse para el régimen jurídico nacional de la adopción de ciertos acuerdos internacionales que establecen, en forma complementaria a los seguros de responsabilidad del explotador y las garantías estatales, un mecanismo adicional de cobertura de posibles daños derivados de accidentes nucleares.

Conviene indicar, como se expuso en la sección relativa a los Convenios Internacionales, que la entidad de tales posibles indemnizaciones por daños nucleares ha derivado en el mundo en un sistema estratificado de cobertura.

En efecto, los seguros privados obligatorios para el explotador corresponden a un primer nivel de cobertura, luego las garantías estatales que debe proveer el Estado en el que se sitúa la instalación corresponden a un segundo nivel y, por último, se encuentran los fondos públicos internacionales, los que cumplen el rol de sistema complementario final de respuesta en el marco de las garantías.

Aún cuando la posibilidad de acceder a fondos internacionales depende, como se ha expuesto, de la suscripción de parte del Estado de Chile de los instrumentos que se mencionan más adelante, es igualmente relevante analizar aquellos puntos críticos que debiesen ser tratados ante una eventual modificación de la normativa nacional.

De este modo, para analizar estos puntos crípticos, vacíos y contradicciones, conviene referirse, de forma sintética y breve, haciendo alusión a lo desarrollado en las

secciones relativas a los Convenios Internacionales, a lo siguiente: **(3.4.4.1.)** Los fondos internacionales en los instrumentos internacionales, con acento en las diferencias y similitudes con la legislación nacional; y, **(3.4.4.2.)** Los vacíos y contradicciones detectados en materia de fondos internacionales.

Cabe señalar que, a diferencia de los puntos críticos tratados con anterioridad en este informe, en esta materia no resulta necesario abordar los sistemas comparados, en atención a que dada la naturaleza de los fondos internacionales su regulación se encuentra establecida únicamente en los Tratados internacionales.

3.4.4.1. Los fondos internacionales en los Tratados, con acento en las diferencias y similitudes con la legislación nacional

Es conveniente recordar que los instrumentos internacionales que han definido los contornos de los fondos internacionales son el *Convenio de Bruselas Complementario al Convenio de París* y la *Convención de 1997 sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares*.

El primero de estos instrumentos, en su versión enmendada del año 2004, establece que la cuantía que exceda la cobertura provista por las garantías estatales, esto es, 1200 millones de Euros, debe ser cubierta en forma conjunta por los Estado parte, hasta el límite de 1500 millones de Euros, mediante fondos públicos internacionales provenientes de los aportes que deben efectuar todos ellos.

Tal como se ha indicado con anterioridad, a efecto de calcular el monto de los aportes de cada Estado parte a los fondos públicos internacionales, se deben considerar esencialmente dos factores: el producto interno bruto, y la potencia térmica de los reactores de cada Estado parte.

Por su parte, la *Convención de 1997 sobre Indemnización Suplementaria por Daños Nucleares* prevé un fondo internacional para complementar la cuantía de indemnización disponible a través de garantías estatales. A diferencia del instrumento antes mencionado, la Convención Suplementaria no establece un monto que se deba cubrir por vía de los fondos creados en conformidad a este cuerpo normativo. Lo que la Convención sobre Indemnización Suplementaria establece es un sistema de contribución de cada Estado parte a la creación de ese fondo.

Al efecto, la clave de reparto contemplada en este instrumento internacional se traduce en dos criterios, relativamente similares a los de Convenio de Bruselas, estos son: a) la potencia nuclear instalada de cada Estado parte y b) la cantidad determinada por una fórmula que contempla como elementos la tasa de prorrateo de contribución al fondo que fija anualmente Naciones Unidades.

Pero ya se ha expuesto repetidas veces de que Chile no es parte de ese instrumento, y que no ha tenido éxito en el mundo.

Como es posible observar, ambos documentos internacionales contemplan factores dinámicos y variables para la conformación de los fondos públicos internacionales en la materia.

3.4.4.2. Puntos críticos, vacíos y contradicciones detectados en materia de fondos internacionales

Luego de esta exposición, nos referiremos a los vacíos y contradicciones del derecho vigente en la materia, que resultan como conclusión necesaria del análisis efectuado:

- El primer punto es, de **adherir al Convenio de París** y al Convenio Suplementario de Bruselas, cuáles serían los impactos a nivel interno respecto de las obligaciones derivadas de la existencia de los fondos internacionales.

  En este sentido, debe tenerse en consideración, que en caso que Chile suscriba el Convenio de París y, correspondientemente, el Convenio Suplementario de Bruselas, para nuestro Estado aparece por una parte la ventaja de extender la cobertura de los posibles daños derivados de un incidente nuclear, pero a su vez surge la obligación de contribuir a la conformación de los fondos internacionales.

  Como es obvio, dado el sistema de determinación de la obligación de concurrencia de cada Estado parte a la conformación del fondo, no es posible determinar *ex ante* cual es el exacto monto del aporte que a Chile correspondería. Ello atendido que la fórmula de cálculo del mismo contempla como elemento la potencia nuclear de los respectivos reactores y el producto interno bruto de cada Estado parte.

  Lo anterior, sin embargo, permite prever que la contribución de Chile no sería comparativamente significativa, atendido que la posible potencia nuclear de la que nuestro país dispondría, al menos en primera instancia, no sería de una entidad considerable. No obstante lo anterior, se requiere aquí de un cálculo que vaya, evidentemente, más allá de las posibles consideraciones jurídicas, pues para una evaluación correcta de la decisión deben proyectarse las cifras de acuerdo a los posibles escenarios en que Chile se encontraría en el futuro.

  Esta solución pasa también por definir la suerte de la adhesión de Chile a la Convención de Viena, considerando que existen países que han ratificado

ambos grupos de convenios, pero que la mayoría opta por uno de ellos. Esta cuestión es abordada, en el capítulo de Convenciones Internacionales del presente informe.

- El segundo punto se refiera a si se presenta como alternativa el adherir al ***Convenio de indemnización complementaria de 1997***.

  La alternativa al esquema indicado en el numeral precedente es la adopción del sistema de esta Convención. Esta decisión debe situarse, naturalmente, en el contexto de adhesión íntegra a este instrumento internacional.

  Lo cierto es que esta Convención no ha sido objeto de suscripción por un número significativo de países, lo que la coloca en una posición desmejorada con respecto a los fondos internacionales provenientes del Convenio Suplementario de Bruselas.

Sólo resta mencionar, que las mismas prevenciones ya formuladas respecto a la proyección del aporte del Estado de Chile, que se indicaron respecto al Convenio Suplementario de Bruselas son, del mismo modo, aplicables a la Convención sobre Indemnización Suplementaria.

Sobre este particular, conviene clarificar con un cuadro el sistema de cobertura internacional de los daños nucleares.

A la luz de lo expuesto, los regímenes de los seguros, las garantías estatales y los fondos públicos internaciones establecidos en las convenciones estudiadas, resultan inseparables, pues estas instituciones dan respuesta a los problemas derivados de la responsabilidad que puede emanar de los daños nucleares.

Así, la evolución observada en la materia se caracteriza por el establecimiento de un sistema estratificado de coberturas, compuesto por seguros en el primer nivel, garantías estatales en el segundo, y fondos públicos internacionales en el tercero y último. A su vez, es posible destacar un incremento continuo de la cuantía de la cobertura y una homologación de estos montos en los distintos instrumentos internacionales.

A fin de mostrar la evolución producida en la materia, y la forma en que se coordinan y complementan seguros, garantías estatales y fondos internacionales en las Convenciones Internacionales, se presenta un cuadro resumen de los límites de cada uno de estos niveles de cobertura.

	CP		**CV**		**CB**		**CIS**
	Texto vigente	Enmienda	Texto vigente	Enmienda	Texto vigente	Enmienda	
Seguro u otra garantía financiera	**i)** Regla general: **US$ 24 millones** **ii)** Riesgo reducido: **US$ 8 millones**	**€ $ 700 millones**	**US$ 5 millones**	**i)** Regla general: **US$ 480 millones** **ii)** Aporte conjunto **US$ 240 millones** **iii)** Periodo transitorio de 15 años: **US$ 160 millones** **iv)** Riesgo reducido: **US$ 8 millones**	**US$ 8 millones**	**€ $ 700 millones**	***No regulado***
Garantía Estatal	***No regulado***	**i)** garantía complementaria: entre **€ $ 700 millones** y **€ $ 1200 millones** **ii)** garantía subsidiaria: **€ $ 700 millones**	garantía subsidiaria: **US$ 5 millones**	**i)** Aporte conjunto **US$ 240 millones** **ii)** garantía subsidiaria: **US$ 480 millones**	Entre **US $ 8 millones** y **US $ 280 millones**	Entre **€ $ 700 millones** y **€ $ 1200 millones**	**US $ 480 millones**
Fondos Internacionales	***No regulado***	Entre **€ $ 1200 millones**	***No regulado***		Entre **US $ 280 millones**	Entre **€ $ 1200**	Variable

		y **€ $ 1500 millones**		y **US $ 480 millones**	**millones** y **€ $ 1500 millones**	

IX. POTESTAD DEL EJECUTIVO RESPECTO A LA DECISIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR

1. Consideraciones generales

Conforme los requerimientos de las Bases de Licitación, uno de los aspectos críticos identificados como necesarios de análisis lo constituye *"la potestad del Ejecutivo para la toma de decisión de la incorporación de la energía nuclear en Chile".* A efectos de analizar esta materia, se propuso realizar las siguientes actividades:

- Identificar compromisos internacionales suscritos por Chile que definan los medios legales para adoptar la decisión de contar con plantas nucleares en nuestro país, destinada a la generación de energía eléctrica.

- Identificar las vías legales y constitucionales previstas en nuestro ordenamiento jurídico que permitan definir de manera unívoca la voluntad de nuestra sociedad de contar o no con energía eléctrica proveniente de una planta nuclear.

- Definir la vía más recomendable de acuerdo a nuestra realidad.

- Recomendar modificaciones legislativas que permitan que la decisión sea aun más participativa y transparente, de lo previsto por nuestro actual marco legal.

- Analizar los distintos escenarios de participación privada ante la instalación de una planta nuclear en Chile

- Revisar las respuestas institucionales del Estado en el Derecho Comparado, ante la mera decisión de ingreso de una central nuclear motivada por una decisión privada

- Proponer las tareas que debiera encargar el Estado ante los distintos escenarios posibles de participación privada que puede originar la decisión de construcción de una planta nuclear.

2. Descripción de la experiencia comparada relativa a la toma de decisiones para la incorporación o rechazo de la opción nuclear en la matriz energética de cada país

2.1. Marco Introductorio

Al igual como debe ocurrir en Chile, gran parte de los países que han adoptado decisiones de incorporar la energía nuclear a su matriz energética lo han hecho a través de disposiciones de rango legal, es decir, a través de decisiones adoptadas en los órganos legislativos de cada nación.

Asimismo, los países que han prohibido la energía nuclear en su matriz energética, o han establecido moratorias respecto de ellas, también lo han hecho por la misma vía legislativa.

Por excepción, tratándose de países que estaban bajo regímenes autoritarios, ya sea militares o de la órbita soviética, las decisiones de incorporar la energía nuclear se adoptó por decisiones administrativas del propio gobierno.

Una segunda excepción la constituyen aquellos países que prohibieron o establecieron moratorias respecto de la energía nuclear, adoptándose decisiones vía consultas o plebiscitos.

2.2. Países que adoptaron la decisión por vía legislativa

2.2.1. Primeras leyes.

Respecto de los países que adoptaron la decisión de incorporar la energía nuclear, es de destacar que las primeras leyes, generalmente posteriores a la Segunda Guerra Mundial, se destacan por crear organismos que tuvieron por propósito propiciar la investigación y uso de la energía nuclear.

Así, en el caso de **Canadá**, la actividad nuclear data desde 1944, cuando bajo la administración del National Research Council of Canada se inició el desarrollo de un reactor nuclear a base de agua pesada[864], con el objeto de efectuar estudios experimentales de obtención de isótopos, estando vinculada a análisis militares. Coherente con ello, en el año 1946, se dicta la primera ley sobre la materia (*sobre el control de la energía atómica*) y que sería modificada varios años después, en 1997[865].

[864] World Nuclear Asociation, *Nuclear Power in Canada*, en http://bit.ly/9T46gD
[865] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Canada,* en http://bit.ly/cPZRCO

En 1952[866], el Gobierno canadiense crea la Atomic Energy of Canada Ltd (AECL), una empresa pública, la que encomienda la desarrollo pacífico del uso de la energía atómica. Esta labor la lleva a cabo previo acuerdo con la Canadian General Electric y Ontario Hydro. Para 1962 ya se encuentra en operaciones la primera planta nuclear con fines de generación eléctrica, denominada Nuclear Power Demonstration y que significa la creación del prototipo "CANDU".

En el caso de **Estados Unidos**, finalizada la Segunda Guerra Mundial, se suscita una interesante discusión sobre el futuro de la investigación y desarrollo nuclear. Este asunto fue abordado durante la Presidencia de Harry S. Truman y, **por vía legislativa**, en 1946 se dictó la Ley de Energía Nuclear, que crea la Comisión de Energía Atómica (AEC)[867], entidad que contaba con extraordinarias competencias e independencia en el ámbito de la investigación y desarrollo. Asimismo, en razón de garantizar la seguridad nacional, se establece que la propiedad de las instalaciones y reactores pertenecería al Estado.

En **Finlandia**, la primera normativa sobre la materia es la Ley de Energía Atómica, de 1950. En ella se estableció que la labor regulatoria estaba a cargo del Instituto de Protección Radiológica (STL), que fue fundado como una autoridad independiente de seguridad, pero administrativamente dependiente del Ministerio de Salud y Asuntos Sociales. A su vez, el año 1957, se dicta la segunda ley en materia nuclear, cuyo objeto fue proteger la salud de la población. Finalmente, el año 1983, la actividad de regulación sería asignada a la Autoridad de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK)[868].

En el caso del **Reino Unido** la legislación sobre energía nuclear es de larga data, surgiendo con la Atomic Energy Act[869] de 1946, referida al uso pacífico de este tipo de energía, encomendándole al Ministerio de Suministro su implementación.

En **Suiza**, en el año 1946 se reguló por primera vez el uso pacífico de la energía nuclear, bajo la forma de una orden federal que incentivaba la investigación[870].

El gobierno de **Suecia** estableció la AB Atomenergi, organización para la investigación de la energía atómica, en 1947[871]. A mediados de la siguiente década, se construirían los primeros reactores experimentales (R1 en 1954).

---

[866] World Nuclear Asociation, *Op. cit*.
[867] Buck Alice L., *A History of the Atomic Energy Commission*, elaborado para U.S. Department of Energy, DOE/ES-0003, en http://bit.ly/bYJOw2
[868] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Finland,* en http://bit.ly/bOYLVU
[869] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: United Kingdom,* en http://bit.ly/a7P9yh
[870] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Switzerland,* en http://bit.ly/cx969B
[871] World Nuclear Asociation, *Nuclear Power in Sweden*, en http://bit.ly/9iZk2P

En **Francia**, en el año 1945[872], fue creada la Comisión de Energía Atómica, vía decreto del General de Gaulle, quién presidía el Gobierno Provisional de la República Francesa (gaullistas, socialistas y comunistas). Esta entidad monopolizó la investigación y desarrollo del tema.

2.2.2. Evolución legislativa.

Posteriormente, típicamente en la década del cincuenta del siglo pasado, en diversos países se dictan leyes que regulan el ciclo nuclear, estableciendo regulaciones al respecto. Estas leyes, en algunos casos han sido modificadas en los años noventa (´90), como se indicará.

Así, en **Francia**, no obstante que se dictaron varias leyes conforme a las necesidades tecnológicas lo iban requiriendo[873], no será sino hasta el año 1952[874] que se dicta la primera ley sobre el otorgamiento de autorizaciones para el trabajo con elementos radioeléctricos. Para esa fecha se iniciará la construcción de las primeras centrales nucleares, las que estarán operativas a mediados de la década de 1960.

En el **Reino Unido**, no será hasta la Atomic Energy Authority Act de 1954[875] que se impulsará una institucionalidad para el desarrollo de esta energía, ya que con ella se creará la Autoridad de Energía Atómica (UKAEA). Lo anterior es coincidente con el hecho que dos años después, el reactor Calder Hall -de enfoque experimental- será conectado a la red pública de suministro, pero no será hasta mediados de la década de 1960 que se contará con importantes plantas de generación núcleo-eléctrica. Sin perjuicio de ello, en 1974 se crean diversas instancias regulatorias de incidencia nuclear.

En el caso de **Suiza**, no es hasta 1957 que, mediante una enmienda constitucional, aprobada por el Parlamento y refrendada en los diferentes cantones, se determinó que el control y regulación de la actividad nuclear sería de competencia de la Confederación Suiza y no de competencia de los cantones[876], quienes detentarían potestades referentes al otorgamiento de autorizaciones o licencias.

---

872 OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: France,* en http://bit.ly/9x2RZC
873 *Op. cit*., p. 5.
874 *Op. cit*., p. 6.
875 Patterson Walter C., *Going Critical. An Unofficial History of British Nuclear Power*, en http://bit.ly/bUERrl, p. 4-5, 1985. Asimismo ver también, World Nuclear Asociation, *Nuclear Power in United States of America*, http://bit.ly/cTl8G4.
876 *Ibídem*.

En **Corea del Sur**, el primer paso en la materia se suscitó en 1957, cuando este país se suscribió a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA). Un año después fue aprobada la Ley de Energía Atómica, y en 1959 la Oficina de Energía Atómica fue establecida por el gobierno (AEO). De esta manera, en 1962 se logró la construcción del primer reactor experimental. Diez años después se inició la construcción de la primera planta de generación comercial, que estuvo operativa en 1978.

En el caso de **Suecia**, en 1956 se dictó la primera Ley de Energía Atómica, la que sería posteriormente seguida por la Ley de Protección de la Radiación de 1958[877]. En 1960, se creó el Cuerpo de Inspectores Sueco de Energía Nuclear (SKI)[878], que pasó a ser la responsable del licenciamiento, regulación y supervisión. Estas leyes y otras fueron sustituidas por la Ley de Actividades Nucleares, del año 1984.

A su vez, **Bélgica** dictó la Ley de Protección del Público contra los Riegos de la Radiación Iónica, de 1958[879]. Esta normativa se refería al otorgamiento de licencias de instalaciones nucleares, protección de la radiación, manejo de desechos radioactivos, importación, transito y distribución de sustancias radiactivas. Bajo este cuerpo legal, el primer reactor nuclear comercial comenzaría a ser construido en 1962[880]. Posteriormente, en el año 1994, el Parlamento Belga aprobó la Ley sobre la Protección del Público y del Medioambiente contra la Radiación[881], que rige actualmente y que ha sido objeto de una serie de enmiendas.

En 1955[882], el **gobierno alemán occidental** creó el Ministerio Federal para Cuestiones Atómicas, con la finalidad de dar los primeros pasos sobre el estudio de este tema. Sin embargo, la base normativa de la regulación nuclear se produjo ese mismo año, con la enmienda de la Constitución Federal (*Grundgesetz)*, que a efectos de centralizar la regulación y dar coherencia al ordenamiento jurídico interno, asignó la competencia de regular la energía nuclear al Estado Federal. Así, sería su responsabilidad la producción y uso pacífico de la energía nuclear, construcción y operación de instalaciones para tales fines, protección contra el riesgo que conlleva la liberación de esta energía y su radiación, como asimismo la disposición de sustancias radioactivas. Lo anterior es sin perjuicio de que la implementación de la normativa, aprobada por el parlamento federal, también fuere de responsabilidad de los *Landër.*

[877] *Ibídem*.
[878] *Ibídem*.
[879] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Belgium,* en http://bit.ly/a3aXkl, 2003, p. 7.
[880] Asociación Nuclear Mundial, *Nuclear Power in Belgium*, en http://bit.ly/dg2O5n, 2009.
[881] OECD*, Op. cit.*, p. 6-7.
[882] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Germany,* en http://bit.ly/alBXZO, 2009, p. 4.

Coherente con lo anterior, en Alemania Federal, el mismo año 1959, se dictó la Ley de Energía Atómica[883] (sobre el uso pacífico de la energía atómica y de la protección contra sus riesgos). Esta ley buscaba promover la investigación y desarrollo del uso pacífico de esta ley; proteger la vida, la salud y la propiedad de los riesgos de esa energía y proveer compensación en caso de daño; prevenir de los peligros internos y externos que conlleva la energía nuclear; y, garantizar el cumplimiento de las obligaciones internacionales contraídas por la Alemania Federal en la materia.

Durante los 60's se inicia la construcción de los primeros reactores con fines comerciales, estando operativos a mediados de la siguiente década[884]. Con la caída del muro de Berlín y la reunificación de ambas repúblicas, y como medida de seguridad, se decidió el cierre y desmantelamiento de todas aquellas plantas ubicadas al este y de diseño soviético[885]. Cabe recalcar, que la actual Ley de Energía Atómica, del año 2002, ya no busca la promoción de la energía nuclear, sino, más bien, busca el cierre de las actuales plantas, materia en actual discusión.

En el caso de **Italia**, la Ley 933, de 1960, creó la Comisión Nacional de Energía Nuclear (Comitato Nazionale per l'Energía Nucleare - CNEN)[886], entidad encargada de la regulación de esta actividad. Adicionalmente, el año 1962 se dicta la Ley sobre el Uso Pacífico de la Energía Nuclear de 1962[887], cuyas disposiciones introdujeron un régimen general basado en procedimientos previos tales como licencias y notificaciones. Tres años después se enmendaría este cuerpo legal, incorporando adicionales materiales radioactivos a sus regulaciones.

En **Holanda**, la Ley de Energía Nuclear es del año 1963[888], la cual sentó las bases del desarrollo de esta actividad. Esta ley estableció provisiones para la protección de la radiación y definió competencias administrativas (varios ministerios) para la regulación de la actividad. Como consecuencia de lo anterior, en la misma década de los 60's se inició la construcción de las primeras plantas núcleo-energéticas. No obstante, hoy se encuentra operativa solamente una planta y se han priorizado otras fuentes para la generación eléctrica (gas natural)[889].

En 1962[890], pese a las turbulencias políticas en **Brasil** y bajo el periodo democrático de João Goulart, se aprueba la Ley de Política Nacional sobre Materia Nuclear, que establecía el primer marco legal para el incentivo de esta actividad, que solamente

[883] *Ibídem*.
[884] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Germany*, en http://bit.ly/cw4iKQ, 2009.
[885] *Ibídem*.
[886] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Italy,* en http://bit.ly/df6DIU, p. 4.
[887] *Op. cit*., p. 5.
[888] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Netherlands,* en http://bit.ly/ax0kG3, 1999, p. 5.
[889] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Netherlands*, en http://bit.ly/ccCYeP
[890] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Argentina*, en http://bit.ly/br99OB, 2009.

podrá verse plasmada con posterioridad al golpe militar de 1964. En el año 1970[891] el gobierno decide buscar formas de generación núcleo-eléctrica, creando cuatro años después la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), a partir de lo cual se inicia la construcción de la primera planta nuclear, la que entró en funcionamiento el año 1985.

A su vez, **Estados Unidos**, en el año 1974 se modifica la Ley de Energía Nuclear y se crea la Comisión Regulatoria Nuclear (NRC), organismo independiente regulador y que actualmente otorga permisos, quedando la AEC limitada a labores de investigación. Uno de los asuntos medulares de esta modificación es incorporar a privados a la actividad comercial nuclear[892]. Con posterioridad, la Comisión Regulatoria Nuclear se incorpora al Departamento de Energía estadounidense.

En el caso de **Canadá**, en el año 1997 se dicta la Ley de Seguridad y Control Nuclear (NSCA)[893] que reorganizó el esquema institucional. Con este cuerpo legal se creó la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear, que asume el rol regulador sobre la materia y así se independiza del poder central en la toma de decisiones. En efecto, la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear es la encargada de establecer la política regulatoria sobre asuntos referentes a salud, seguridad, medio ambiente y prevención de accidentes. Asimismo, está facultada para el otorgamiento de permisos y dictar reglamentaciones obligatorias para el sector.

2.3. Países que adoptaron la decisión por vía administrativa

Respecto de los países que incorporaron la energía nuclear en su matriz energética a través de decisiones administrativas, cabe destacar a **España**, país que tras finalizada la Segunda Guerra Mundial, comprendió que la producción nucleoeléctrica sería de trascendencia para contar con una matriz que diera seguridad a la producción del país, lo que motivó a que, en el año 1951, Francisco Franco, vía decreto ley[894], crea la Junta de Energía Nuclear, que contaba con amplias facultades para el desarrollo de esta energía[895] / [896]. Al poco tiempo de iniciado el proceso de investigación, en 1964, se dictó la Ley de Energía Nuclear. Sus disposiciones buscaban dar soporte al programa energético nuclear que apoyaba Franco.

---

[891] *Ibídem*.
[892] *Op. cit*., p. 3.
[893] Comisión Nacional de Energía de Chile, *Estudio de la Comisión Nacional de Energía de Chile: Marco Regulador Nuclear: Experiencia Internacional*, elaborado por Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear de Finlandia, 2009, p. 9.
[894] No obstante, se reconoce a los decretos leyes el nivel jerárquico de una ley, en este informe se pone el acento del origen o autoridad que impone o adopta la decisión en comento.
[895] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Spain,* en http://bit.ly/aFIIjH, p. 5, 2001.
[896] Morales Plaza, Antonio, *La regulación nuclear* globalizada, Madrid, Editorial La Ley, Madrid, 2009, p. 268.

En el caso de **Argentina**, en el año 1950[897], durante el primer mandato de Juan Domingo Perón, vía decreto[898] se crea la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), la que con posterioridad sería regulada por diferentes leyes y decretos leyes. Esta entidad estaba a cargo de las labores de investigación y desarrollo en materia nuclear, y tuvo bajo su alero la operación de la primera planta de generación el año 1974.

2.4. Países que adoptaron la decisión por vía referéndum

Respecto de países que **han consultado la opinión de la ciudadanía**, cabe mencionar a **Suiza**, país que atendida su regulación constitucional, un importante número de asuntos de interés general pueden y son objeto de referéndum, tanto a nivel nacional como en los cantones. La energía nuclear no ha sido la excepción. Así, en septiembre 1990, se tomaron decisiones sobre 3 materias: (1) moción pública de abandono progresivo de la energía nuclear (rechazada por un 53%); (2) moción pública de moratoria por 10 años en el otorgamiento de autorizaciones para la construcción de nuevas plantas (aprobada); y (3) moción gubernamental para enmendar la Constitución en razón de otorgar facultades a la Confederación a fin de promover el ahorro de energía899 (aprobada). En 2003 se buscó promover en un nuevo referéndum una extensión de la moratoria, pero esta fue rechazada, por lo cual la moratoria de 10 años adoptada el año 1990 se encuentra vencida.

En **Suecia**, no obstante que la crisis del precio del petróleo en la década de 1970, significó que se privilegiaran los proyectos hidroeléctricos y nucleares, en 1980, luego de un referéndum en el país[900], se adoptó la decisión de no autorizar la construcción de nuevas plantas nucleares. Asimismo, el año 1998 el Parlamento Sueco decidió ordenar el cierre paulatino de las plantas de generación nuclear, toda vez que la política energética actual se orienta al uso eficiente de la energía.

2.5. Sobre la decisión de proscribir la actividad de generación nucleoeléctrica o restringirla

Con relación a países que han establecido **prohibiciones o moratorias** respecto de la energía nuclear, cabe destacar el caso de **España**, el cual con el retorno a la democracia e impulsado por el Partido Socialista Obrero Español (PSOE), modificó el

[897] Asociación Nuclear Mundial, *Nuclear Power in Argentina*, en http://bit.ly/cSlBzs, 2009.
[898] CNEA, en http://www.cnea.gov.ar/xxi/cnea_info/antecedentes.asp (revisado 28 de Noviembre de 2009).
[899] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Switzerland,* en http://bit.ly/cYbhgy, 2008, p. 5.
[900] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Sweden,* en http://bit.ly/9Pe9VA, 2008, p. 5-6.

plan energético, disponiendo el término del apoyo financiero a las plantas que se construían (precisamente en la etapa de aumento del precio del petróleo) y evitando el otorgamiento de nuevas autorizaciones para instalaciones nucleares. Esto se denominó la *moratoria española.*

En el caso de **Italia**, el año 1987 se promovió un referéndum para establecer una moratoria de 5 años en la construcción de nuevas plantas núcleo-eléctricas, el que fue exitoso. Lo anterior obligó al Parlamento Italiano a dictar una ley que declarara la moratoria, que tenía fecha de término el año 1992[901]. Sin embargo, el año 2008, se dictó la Ley N°133, mediante la cual se promueve el resurgimiento de la energía nuclear.

En el caso de **Holanda**, en 1994, el Parlamento votó por ordenar el cierre y que se inicie el proceso de desmantelamiento del único reactor nuclear operativo en este país –Borssele. Sin embargo, el año 2003 este proceso debió ser suspendido por dificultades de carácter legal, por lo que el gobierno pospuso dicha decisión. Con todo, el año 2005 la postura del cierre fue desechada y en la actualidad se proyecta la operación de la planta hasta el año 2033, imponiéndose una serie de condiciones para esto[902].

El caso de **Dinamarca** es probablemente uno de los más claros, toda vez que el año 1985 prohibió la generación eléctrica de fuente nuclear, mediante la aprobación de una ley por el Parlamento Danés. Al año 2007, este país contaba con 3 reactores destinados a la investigación, respecto de los que se ejecutan labores de desmantelamiento[903].

Igual decisión adoptó **Nueva Zelanda**, país que el año 1987 aprobó la ley de Zona Libre de Actividad Nuclear, Desarme y Control de Armas[904]. El objetivo de este cuerpo legal fue dar una señal a la comunidad internacional, consistente en entregar una imagen de país verde o limpio de actividades que son peligrosas para el medio ambiente.

En **Bélgica**, el año 2003 se aprobó una ley que prohíbe la construcción de nuevas plantas de fuente nuclear y limita la operatividad de las ya existentes, estableciendo el año 2025 como la fecha de cierre definitivo del uso de esta energía[905] [906]. Con todo, durante los últimos años se han efectuado estudios ordenados por el gobierno, los que

[901] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Italy,* en http://bit.ly/df6DIU, 2003, p. 5.
[902] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Netherlands*, en http://bit.ly/ccCYeP, 2009.
[903] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Denmark,* en http://bit.ly/9H1ekK, 2007, p. 41.
[904] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Argentina*, en http://bit.ly/dg2O5n, 2009.
[905] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Belgium,* en http://bit.ly/b0Dqg2, 2003, p. 7
[906] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Argentina*, en http://bit.ly/dg2O5n, 2009.

han recomendado retrasar el cierre, en razón de la estabilidad de la economía y de la seguridad en el suministro energético, pero la decisión de prohibir no se ha alterado[907].

2.6. Situaciones especiales observadas en la experiencia comparada

Un caso especial lo constituye **Escocia**, toda vez que a inicios del año 2008 el gobierno laborista manifestó su voluntad de profundizar la política energética referente a la producción de fuente nuclear, esperando contar para el año 2017 con un nuevo reactor. Sin embargo, este lineamiento se ha encontrado con la oposición, no sólo los grupos ecologistas, sino que, además, del actual gobierno escocés. Abiertamente se ha planteado en contra y ha logrado que su Parlamento apoye esta negativa en una dividida votación (63-58)[908] / [909]. Lo anterior resulta más interesante, toda vez que no obstante que la política energética del Reino Unido es controlada desde Londres, el Gobierno Escocés cuenta con atribuciones que internamente pueden complicar las iniciativas de nuevas inversiones.

También constituye un caso especial **Noruega**, ya que no obstante no contar con planta alguna de generación nuclear, este país tiene un marco legal de larga data que se refiere a licenciamiento, operaciones, entre otros. La primera ley dictada sobre el tema surge en 1938, con lo que estamos frente a uno de los primeros países que se embarcó en tratar el tema a nivel legislativo[910]. Hoy se estudian y discuten sobre las ventajas y desventajas de esta energía.

3. Conclusiones preliminares respecto a la experiencia comparada y sus enseñanzas para la opción chilena

De la descripción y análisis anterior, podemos advertir que gran parte de los países que cuentan con energía nuclear han adoptado las decisiones correspondientes a través de sus órganos legislativos.

Las más de las veces, para aprobar leyes que promovían la investigación y desarrollo, para posteriormente, dictar leyes que regularan el otorgamiento de las licencias requeridas para su diseño, operación y desmantelamiento.

Sin embargo, también existen países que, a través de leyes, han decidido prohibir, establecer moratorias o disponer desmantelamientos de las instalaciones nucleares.

---

[907] *Ibídem*.
[908] News Scotman.com, en http://bit.ly/afo8cX (última revisión 28 de noviembre de 2009).
[909] BBC News, en http://bit.ly/cKKdjM (última revisión 28 de noviembre de 2009).
[910] OECD, *Nuclear legislation in OECD countries: Norway,* en http://bit.ly/aghPnP, 2001, p. 5

Sólo por excepción, y particularmente en países de lata tradición en consultas populares, se han efectuado referéndum.

Lo anterior nos lleva a sostener que resulta normal que sea a través de las instancias democráticas de cada país, el medio adecuado para tomar la decisión de incorporación o no de la opción núcleo-eléctrica a la matriz energética nacional, lo que es coherente con las alternativas jurídicas hoy existentes en Chile.

Lo anterior no obsta que el proceso de toma de decisión sea precedido de un fuerte, completo y transparente proceso de información a la comunidad.

4. Descripción y análisis de puntos críticos observados en la legislación nacional

Como hemos referido anteriormente ante las deficiencias de la normativa nuclear vigente en la actualidad, estimamos que la decisión política de dar correcta acogida a la actividad de energía nuclear de potencia requiere de la concurrencia de las voluntades del Poder Ejecutivo y del Congreso Nacional, manifestándose por la vía de generar nuevos cuerpos legales o modificar los existentes.

En efecto, dicha decisión **debe expresarse a través de una ley,** ya que no obstante existir legislación nacional referida a la materia nuclear, conformada tanto por la legislación interna como por los tratados internacionales suscritos y ratificados por Chile, estimamos que determinadas materias requerirán de un tratamiento más profundo, lo que necesariamente requiere de una ley.

En efecto, conforme al artículo 63 numeral 20 de la Constitución Política, es materia de ley *"Toda otra norma de carácter general y obligatoria que estatuya las bases esenciales de un ordenamiento jurídico".*

En la medida que la regulación referida a unidades de generación núcleo-eléctricas constituirá una materia que requerirá de un tratamiento a través de normas de carácter general, entonces necesariamente será preciso contar con una ley que contenga tal conjunto regulatorio.

Asimismo, probablemente se requerirá de una nueva o reforzada institucionalidad, que por una parte autorice el diseño, construcción, operación y desmantelamiento de las instalaciones nucleares, y a su vez que fiscalice, sancione o ejerza facultades coercitivas respecto del cumplimiento de las normas aplicables.[911]

[911] Esta conclusión aparece, además, en el informe *La Opción Nuclear en Chile*, elaborado por el Grupo de Trabajo en Núcleo – Electricidad en el mes de Septiembre de 2007.

Si lo anterior fuere así, entonces necesariamente se requerirá que la ley que se dicte sobre la materia inicie su tramitación mediante mensaje presidencial, toda vez que, conforme al artículo 65 de la Constitución Política, el Presidente de la República tiene la iniciativa exclusiva para *"Crear nuevos servicios públicos o empleos rentados, sean fiscales, semifiscales, autónomos o de las empresas del Estado; suprimirlos y determinar sus funciones o atribuciones".*

Por último, en el caso que se decidiere que el Estado participe en la propiedad de las unidades de generación núcleo-eléctricas, entonces se requerirá que se autorice tal participación empresarial del Estado a través de una ley de quórum calificado.

Sólo en el caso que se estimare que quien puede participar en la propiedad de una instalación nuclear sea la Comisión Chilena de Energía Nuclear, entonces, conforme lo dispone el artículo 7 de la Ley 16.319, que crea la referida Comisión, ya se entendería cumplido ese requisito. En efecto, el inciso 2° del artículo 7 dispone: *"La producción de energía nuclear con fines pacíficos sólo podrá realizarse por la Comisión o con su licencia previa. La Comisión podrá realizar dicha producción por sí o por medio o en unión de terceros".*

Esta necesidad de contar con una ley que regule a las unidades de generación núcleo-eléctricas también es consistente con lo dispuesto en el artículo 7 de la Convención sobre Seguridad Nuclear, el que dispone:

> ***Artículo 7. Marco Legislativo y Reglamentario***
>
> *1. Cada Parte Contratante establecerá y mantendrá* ***un marco legislativo*** *y reglamentario por el que se regirá la seguridad de las instalaciones nucleares.*
> *2.* ***El marco legal*** *y reglamentario preverá el establecimiento de:*
> *i) Los requisitos y las disposiciones nacionales aplicables en materia de seguridad;*
> *ii) Un sistema de otorgamiento de licencias relativas a las instalaciones nucleares, así como de prohibición de la explotación de una instalación nuclear carente de licencia;*
> *iii) Un sistema de inspección y evaluación reglamentarias de las instalaciones nucleares para verificar el cumplimiento de las disposiciones aplicables y de lo estipulado en las licencias;*
> *iv) Las medidas para asegurar el cumplimiento de las disposiciones aplicables y de lo estipulado en las licencias, inclusive medidas de suspensión, modificación o revocación.*

Por consiguiente, a efectos de dar cumplimiento a esa obligación de carácter internacional, y en tanto se entendiera que el actual marco legal no es suficiente para dar por cumplida dicha obligación (que es uno de los objetivos de este estudio), resulta necesario dictar una ley.

Por lo tanto, en la medida que la incorporación de la opción nuclear en la matriz energética nacional requiere de la previa dictación de una norma de rango legal, y que ésta debe iniciarse mediante mensaje presidencial, entonces necesariamente la posibilidad de proceder a esa incorporación requeriría de:

- La voluntad del Gobierno, que se expresaría el enviar el proyecto de ley respectivo para conocimiento y tramitación del Congreso Nacional; y

- La voluntad del Congreso Nacional que se expresaría aprobando o rechazando el proyecto de ley enviado.

Incluso más, conforme el artículo 23 de la ley Orgánica Constitucional del Congreso Nacional, el trámite normal de los proyectos de ley contempla que éstos tengan una etapa de discusión general y otra de discusión particular, entendiéndose por *"discusión general la que diga relación sólo con las ideas matrices o fundamentales del proyecto y tenga por objeto admitirlo o desecharlo en su totalidad. Para los efectos anteriores, se considerarán como ideas matrices o fundamentales de un proyecto aquéllas contenidas en el mensaje o moción, según corresponda".*

Por consiguiente, si la mayoría de la Cámara que conoce del mismo estima rechazar la posibilidad de incorporar la opción núcleo-eléctrica en la matriz energética nacional, entonces ello podría hacerse en etapa de discusión general.

Lo anterior no obsta a que uno o más parlamentarios envíen una moción con un proyecto de ley al Congreso Nacional, consistente simplemente en un artículo único, el que establezca una prohibición general para la instalación de unidades de generación núcleo-eléctricas.

Un proyecto de ley de esa naturaleza no es de iniciativa exclusiva del Presidente de la República, por lo que la decisión de rechazar la incorporación de unidades nucleares a la matriz energética nacional no requiere de su consentimiento.

Por otra parte, el que la decisión de incorporar o no la opción núcleo-eléctrica en la matriz energética nacional sea adoptada por el Congreso Nacional no sólo responde normativamente al ejercicio de sus facultades, sino que ello también es reflejo del ejercicio de la soberanía.

En efecto, el artículo 5 de la Constitución Política establece: *"La soberanía reside esencialmente en la Nación. Su ejercicio se realiza por el pueblo a través del plebiscito y de elecciones periódicas y, también,* ***por las autoridades que esta Constitución establece.*** *Ningún sector del pueblo ni individuo alguno puede atribuirse su ejercicio".*

Ahora bien, respecto de un eventual planteamiento de que la decisión de incorporar o no la opción núcleo-eléctrica en la matriz energética nacional sea adoptada por la ciudadanía, a través de un plebiscito, debemos señalar que ello, al tenor de las disposiciones constitucionales vigentes, no resulta jurídicamente factible.

En efecto, el inciso 2° del artículo 15 de la Constitución establece: "*Sólo podrá convocarse a votación popular para las elecciones y plebiscitos expresamente previstos en esta Constitución".*

En la medida que no existe la posibilidad de llamar a plebiscito para efectuar consultas sobre alguna materia en particular, como sería preguntar si se está de acuerdo con la incorporación de la opción nuclear a la matriz energética nacional, debe descartarse dicha posibilidad, salvo que se modificare la Constitución Política.

En conclusión, **recaerá en la común voluntad del Presidente de la República y en el Congreso Nacional la decisión de incorporar o no la opción núcleo-eléctrica en la matriz energética nacional sea adoptada**.[912]

Si se quisiere un nivel de participación mayor, como sería convocar a un plebiscito nacional, entonces se requeriría modificar la Constitución.

5. Consideraciones adicionales de la legislación nacional referida a la toma de decisión.

5.1. Sobre el uso pacífico de la energía nuclear

Si bien el objetivo de este estudio es analizar los aspectos legales asociados al uso de la energía nuclear, lo que supone que ella se efectúa con fines pacíficos, cabe preguntarse si la legislación nacional pueda dar pie para el desarrollo bélico.

La normativa fundamental referente al tema nuclear la encontramos en la Ley 16.319, de 1965 y que creó la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). En su artículo 3° primer inciso prescribe que este organismo tiene como objetivo *"atender a los problemas relacionados con la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de la energía atómica y de los materiales fértiles, fisionables y radiactivos*".

[912] Lo anterior sin perjuicio que las decisiones de emplazamiento de una central nuclear, en un lugar determinado, sean adoptada por otros organismos.

En este mismo artículo en su letra d) se expresa como función de la CCHEN el *"Fomentar, realizar o investigar, según corresponda y con arregle a la legislación vigente, la exploración, la explotación y el beneficio de materiales atómicos naturales, el comercio de dichos materiales ya extraídos y de sus concentrados, derivados y compuestos, al acopio de materiales de interés nuclear, y la producción y utilización, con fines pacíficos, de la energía nuclear en todas sus formas, tales como su aplicación a fines médicos, industriales o agrícolas y la generación de energía eléctrica y térmica*".

Junto con estos preceptos se encuentra el artículo primero de la Ley 18.302 de Seguridad Nuclear, del año 1984, que señala "*Por exigirlo el interés nacional, quedarán sometidas a esta ley, todas las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear y con las instalaciones y las sustancias nucleares y materiales radiactivos que se utilicen en ellas como de su transporte, con el objeto de proveer a la protección de la salud, la seguridad y el resguardo de las personas, los bienes y el medio ambiente, y a la justa indemnización o compensación por los daños que dichas actividades provocaren; de prevenir la apropiación indebida y el uso ilícito de la energía, sustancias e instalaciones nucleares; y de asegurar el cumplimiento de los acuerdos o convenios internacionales sobre la materia en que sea parte Chile*".

Enunciado lo anterior, este mismo cuerpo legal encomienda en su artículo 2° a la CCHEN la fiscalización de las actividades indicadas en el artículo anteriormente citado.

No obstante, lo señalado precedentemente, nuestra legislación interna omite referirse sobre los usos bélicos de la energía nuclear, sin perjuicio de lo cual nuestro país ha ratificado sendos convenios internacionales en el sentido de proscribir este tipo de uso, tales como el Tratado de No Proliferación Nuclear.

5.2. Criterios de transparencia en la toma de decisión

Las bases legales de la actividad nuclear son los cuerpos normativos de las leyes 16.319 que crea la CCHEN y la Ley 18.302 sobre la Seguridad Nuclear, la primera del año 1965 y la segunda de 1984, dictadas en épocas en que la transparencia no era valorada como sucede actualmente.

Por ello, como consecuencia lógica del interés de transparentar la información por parte de nuestro ordenamiento jurídico, que ha sido plasmado en la reforma del actual artículo 8° de la CPR y la dictación de la Ley 20.285 sobre acceso a la información pública, la publicidad es un bien jurídico fundamental en nuestro actual esquema democrático.

Por ello, y aún cuando esta última ley solamente le es aplicable al Congreso Nacional en sus artículos 3[913] y 4[914], estas disposiciones imponen al Parlamento la necesidad de transparentar las decisiones que tome, en mayor medida esperable sobre la temática nuclear.

5.3. De la Evaluación Ambiental Estratégica.

Como se ha indicado, la incorporación o rechazo de la opción nuclear en la matriz energética nacional constituye una decisión que queda entregada a los órganos legislativos.

No obstante, la experiencia comparada indica que ello debe estar precedido de un proceso transparente de información a la comunidad, generando o utilizando los instrumentos idóneos para permitir la participación y consulta por parte de las personas interesadas, de manera de asegurar la legitimidad, sostenibilidad y efectividad de la decisión.

La evaluación ambiental estratégica (EAE)[915], como instrumento que busca integrar las consideraciones ambientales en el proceso de toma de decisiones, puede desempeñar un papel relevante para alcanzar esos objetivos, en la medida que se integre en el proceso de diseño y adopción de decisiones e intervenciones de carácter estratégico, instalando una instancia de análisis con un enfoque transversal y de participación pública.

En términos sencillos, en el marco de la EAE, se contemplan las etapas de diseño y aprobación de la política o plan. La primera etapa contempla la intervención de otros organismos públicos vinculados a las materias objeto de la política o plan, así como otros instrumentos relacionados con ellos. Por su parte, la etapa de aprobación

---

913 Artículo 3°. La función pública se ejerce con transparencia, de modo que permita y promueva el conocimiento de los procedimientos, contenidos y decisiones que se adopten en ejercicio de ella.

914 Artículo 4°. Las autoridades, cualquiera que sea la denominación con que las designen la Constitución y las leyes, y los funcionarios de la Administración del Estado, deberán dar estricto cumplimiento al principio de transparencia de la función pública. El principio de transparencia de la función pública consiste en respetar y cautelar la publicidad de los actos, resoluciones, procedimientos y documentos de la Administración, así como la de sus fundamentos, y en facilitar el acceso de cualquier persona a esa información, a través de los medios y procedimientos que al efecto establezca la ley.

915 En el proyecto de modificación de la Ley Nº 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, que incorpora la EAE como nuevo instrumento de gestión ambiental, se define como "*el procedimiento realizado por el Ministerio sectorial respectivo, para que se incorporen las consideraciones ambientales del desarrollo sustentable, al proceso de formulación de las políticas y planes de carácter normativo general, que tengan impacto sobre el medio ambiente o la sustentabilidad, de manera que ellas sean integradas en la dictación de la respectiva política y plan, y sus modificaciones sustanciales*" (Nuevo artículo 2 literal i bis).

considera la elaboración de un anteproyecto que contendrá un informe ambiental, que se remitirá al Ministerio del Medio Ambiente para que formule sus observaciones, sometiéndose luego a consulta pública. Se considera la "*difusión masiva, completa y didáctica hacia los afectados y la comunidad en general, en lo referente a los contenidos, alcances y efectos de la política o plan, así como de su reformulación posterior*"[916].

El procedimiento de EAE finaliza con una resolución del Ministerio sectorial, que dará cuenta del proceso, la participación que le ha cabido a otros organismos y a la ciudadanía, y fundamentalmente, "*las consideraciones ambientales y de desarrollo sustentable que debe incorporar la política o plan para su dictación, así como los criterios e indicadores de seguimiento destinados a controlar la eficacia del plan o política, y los criterios e indicadores de rediseño que se deberán considerar para la reformulación de dicho plan o política en el mediano o largo plazo"*[917].

Atendido lo anterior, es posible plantear un escenario previo al nivel legislativo, en el cual el Gobierno, contando ya con información suficiente sobre sus implicancias, decida iniciar la elaboración de una política de incorporación de la energía nuclear para generación eléctrica. La EAE, recientemente creada mediante la Ley 20.417, entrega un marco para la discusión y análisis de las repercusiones ambientales de la decisión que se adopte, sirviendo de base y sustento para la posterior discusión parlamentaria.

La nueva normativa ambiental establece que las políticas y planes de carácter normativo general, así como sus modificaciones sustanciales, que tengan impacto sobre el medio ambiente o la sustentabilidad, deberán someterse a EAE en la medida que el Presidente de la República, a proposición del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, así lo decida[918].

Este Consejo de Ministros[919] constituye un "*órgano de deliberación de política pública*", en particular aquellos aspectos "*que son transversales*"[920], entre cuyas funciones se

[916] Nuevo artículo 7 ter literal d) de la Ley N° 19.300.
[917] Nuevo artículo 7 quater. Dentro de las competencias del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, se encuentra proponer al Presidente de la República los criterios de sustentabilidad que deben ser incorporados en la elaboración de las políticas y procesos de planificación de los ministerios, así como en la de sus servicios dependientes y relacionados, según el nuevo artículo 71 literal b) de la Ley N° 19.300.
[918] Nuevo artículo 7 bis de la Ley N° 19.300.
[919] Este Consejo de Ministros se encuentra presidido por el Ministro del Medio Ambiente, y está integrado por los Ministros de Agricultura; de Hacienda; de Salud; de Economía, Fomento y Reconstrucción; de Energía; de Obras Públicas; de Vivienda y Urbanismo; de Transportes y Telecomunicaciones; de Minería, y de Planificación.
[920] Primer informe de la Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente de la Cámara de Diputados.

encuentra "*proponer al Presidente de la República las políticas sectoriales que deben ser sometidas a evaluación ambiental estratégica*"[921].

De tal forma, por ejemplo, una política nacional energética que contemple la opción nuclear, no debería ser sometida obligatoriamente a EAE, sino que ello depende de la proposición que efectúe este órgano colegiado al Presidente de la República.

Igualmente, cabe plantearse cómo se insertará la consulta a los pueblos indígenas, en virtud del Convenio Nº 169, de la Organización Internacional del Trabajo (1989). Este instrumento internacional, ratificado por Chile, dispone en su artículo 6 que los gobiernos deberán "*consultar a los pueblos interesados, mediante procedimientos apropiados y en particular a través de sus instituciones representativas, cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas susceptibles de afectarles directamente*".

Al respecto, mediante Decreto Supremo Nº 124/09, del Ministerio de Planificación, se dictó el Reglamento sobre Consulta y Participación de los Pueblos Indígenas, que implementa lo dispuesto en el artículo 6 del Convenio Nº 169. Este reglamento define 'medidas administrativas' como "las nuevas políticas, planes y programas (…) elaborados por los órganos de la administración del Estado (…) que afecten directamente a los pueblos indígenas interesados"[922], los que deberán someterse a consulta en forma previa a la aplicación de tales instrumentos. Este proceso contempla la adecuada información de los pueblos indígenas acerca de la medida, así como la recepción de sus observaciones, las que deberán ser analizadas y ponderadas debidamente por el organismo respectivo[923].

En cualquier caso, cabe tener en consideración que el artículo 6 del Convenio Nº 169 obliga a los gobiernos a efectuar esta consulta "mediante procedimientos apropiados". Surge la duda de si la consulta pública que contempla la EAE podrá cumplir tal rol, o será necesario compatibilizar el proceso de diseño y aprobación de políticas y planes sometidos a EAE con un proceso especial de consulta a los pueblos indígenas.

Se observa, finalmente, que en el ámbito comparado, desempeña un rol trascendente la evaluación ambiental estratégica de carácter transfronterizo en lo que dice relación con el emplazamiento de instalaciones nucleares. La notificación y consultas a los Estados que pueden verse afectados de manera significativa por los efectos transfronterizos sobre el medio ambiente de un plan o programa, es una práctica habitual en el contexto europeo, incluyendo el caso de las decisiones en el ámbito

[921] Nuevo artículo 71 literal d) de la Ley N° 19.300.
[922] Artículo 14 del D.S. Nº 124/09, del Ministerio de Planificación.
[923] Artículos 15 y 17 del D.S. Nº 124/09, del Ministerio de Planificación.

nuclear[924]. Este constituye un vacío existente en nuestra legislación, explicable por la inexistencia de instrumentos similares en el resto de Sudamérica, así como por el alto grado de integración que existe en Europa. Iniciativas similares se desarrollan actualmente en el marco del Sistema de Integración Centroamericano.

Considerando lo expresado, no puede descartarse la posibilidad de diseñar un mecanismo legal especial para la adopción de decisiones de carácter estratégico en el ámbito de la generación núcleo-eléctrica, que tome los principios que inspiran la EAE (transversalidad, transparencia, participación), y contemple la consulta a los diversos actores públicos y privados interesados[925].

[924] Así, por ejemplo, el caso de la instalación de la central Temelin en la República Checa, en relación a Austria y Alemania.

[925] A modo referencial, en Francia, como producto de un debate nacional sobre la energía y con la finalidad de dar mayor importancia a la opinión ciudadana en el proceso de toma de decisiones sobre las opciones estratégicas y la política energética, se promulgó la Ley N° 686/06, sobre Transparencia y Seguridad en Materia Nuclear, que pone énfasis en la información y participación de la ciudadanía en estas decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

Agüero Vargas Francisco, *"Producción y Política Comercial de la Energía Eléctrica", Presentación realizada en el marco del Magíster de Economía Energética*, Santiago, Universidad Técnica Federico Santa María, 2009.

Akintoye Akintola et al (eds), "*Public-Private Partnerships. Managing risks and opportunities"*, Oxford, Blackwell Science, 2003.

Alessandri Rodriguez Arturo, "*De la responsabilidad extracontractual en el derecho civil chileno"*, Santiago, Imprenta Universitaria, 1943.

AMEC - CADE Ingeniería y Desarrollo de Proyectos Ltda. - AMEC NUCLEAR UK, "*Estudio de Opciones de Ciclos de Combustible Nuclear"*, 2009, Santiago. Chile.

Araya Fernando, "*La Relación de causalidad en la responsabilidad civil"*, Santiago, Lexis Nexis, 2003.

Ariño Ortiz Gaspar, "*Empresa pública, empresa privada, empresa de interés general"*, Pamplona, Thomson – Aranzadi, 2007.

Ariño Ortiz Gaspar, "*Teoría y práctica de la regulación para la competencia"*. *Working paper N° 17. 2005*.

Aróstica Maldonado Iván, "*Derecho administrativo económico",* Santiago, Universidad Santo Tomás, 2001.

Banfi Cristián, *"De la responsabilidad civil como instrumento de protección ambiental"*, *Revista Chilena de Derecho Privado,* Fundación Fernando Fueyo Laneri*,* 2004, N°2.

Baraona Jorge, "*La causa del daño en la jurisprudencia reciente"*, *Revista Chilena de Derecho*, n° 30, 2003.

Barceló, Adolf, *"Instalaciones Nucleares: Autorización y Conflicto"*, Ariel Derecho, Barcelona, 2002.

Barros Enrique, *"Responsabilidad civil en materia de medio ambiente, en Derecho del medio ambiente"*, Facultad de Derecho, Universidad de Chile, Santiago, Conosur, 1998.

Barros Enrique, "*Tratado de responsabilidad extracontractual"*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2006.

Biaggini P.A. y Asplindh H.A., *"Joint Venture y el control preventivo de fusiones y adquisiciones en el derecho argentino"*, *Boletín latinoamericano de competencia, N° 14*, 2002.

Carmona Santander Carlos, "*Unidad V: El principio de legalidad"*. Apuntes de clases Universidad de Chile, 2005.

Carmona Santander Carlos, "*Unidad VI: El principio de control: 1. La dimensión activa"*, Apuntes de clases. Universidad de Chile, 2005.

Chambers Doug, *"The Canadian Fuel Cicle"*, en Seminario "*La exitosa experiencia canadiense en energía nuclear"*, 26 de Noviembre de 2009, Santiago, Chile.

Charlin Daniel y Müller Heinz, *"Modelo de Negocios de una Planta Nuclear"*, Investigación realizada para el curso de Mercados Eléctricos, Santiago, Departamento de Ingeniería Eléctrica PUC, 2009.

Comisión Nacional de Energía, "*Energía y Regulación"*, Pamplona, España, 2007, pp. 246 y ss.

Corral Hernán, "*Lecciones de Responsabilidad civil extracontractual"*, Editorial Jurídica de Chile, Santiago, 2003.

Cour des Comptes, *"Le démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs. Rapport au Président de la République suivi des réponses des administrations et des organismes intereses*", janvier 2005.

Desdentado Eva. "*Discrecionalidad administrativa y planeamiento urbanístico*". Editorial Aranzadi. Pamplona, 1999

Díaz Carlos, Galetovic Alexander y Soto Raimundo, "*La crisis eléctrica de 1998 – 1999, Causas, Consecuencias y Lecciones"*, Santiago, 2000.

Diez José Luis, "*El daño extracontractual. Jurisprudencia y doctrina"*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 1997.

Domínguez Carmen, "*El daño moral"*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2000.

Domínguez A. Ramón, *"Aspectos de la relación de causalidad en la responsabilidad civil con especial referencia al derecho chileno", Revista de Derecho Universidad de Concepción*, N° 209, 2001.

Domínguez Ramón, *"Consideraciones en torno a la noción de daño en la responsabilidad civil. Una visión comparatista", Revista de Derecho de la Universidad de Concepción*, N° 188, 1990.

Dussart-Desart, Roland, *"La réforme de la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire et de la Convention Complémentaire de Bruxelles – Un des principaux éléments de modernisation", Bulletin de Droit Nucléaire*, 2006, n°75.

Dussart – Desart, Roland, *"La Réforme de la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énérgie nucléaire et de la Convention complémentaire de Bruxelles – Un survol des principaux éléments de la modernisation des deux Conventions"* , 2005, n° 75.

EDF Group 2008 Annual Report, "*Leading the energy change"*, EDF, 2008, p. 12.

Errázuriz José Tomas y Agüero Francisco, *"Tratamiento de los acuerdos de cooperación empresarial ante el derecho de la competencia. ¿Cuándo un joint ventue es una concentración?"*, *Revista Anales Derecho UC Temas de Libre Competencia*, 2007, N° 2, Santiago, Chile.

Evans Espiñeira Enrique, "*La sanción administrativa y la regulación de las actividades económicas. Efectos de un cambio en la jurisprudencia constitucional"*. Ponencia presentada en las XXXVI Jornadas Chilenas de Derecho Público.

Ferrada Borquez Juan Carlos, "*Las potestades y privilegios de la administración pública en el régimen administrativo chileno*", "*Revista de Derecho (Valdivia)*", Vol. XX, N°2, Diciembre 2007.

Fernandois Arturo, "*Derecho Constitucional Económico"*, Tomo I, Santiago, Universidad Católica, 2001.

Fueyo Fernando, "*Los Contratos de colaboración empresaria"*, Santiago, Jurídica, colección Cartillas, 1991.

García de Enterría Eduardo y Fernández Tomás-Ramón, "*Curso de Derecho Administrativo"*, Tomo II, Madrid, Thomson-Civitas. Novena edición.

Garrido Valenzuela Raúl, "*Las empresas estatales"*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 1966.

Helm Dieter, "*Energy, the State and the Market. British Energy Policy since 1979"*, Londres, Oxford University Press, 2003.

Hernández Juan Carlos, "*Regulación y competencia en el sector eléctrico"*, Thomson Aranzadi, 2005.

IAEA. "*Colección de Normas de Seguridad del OIEA, Infraestructura Legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radioactivos y del transporte"*. 2004. Viena. Austria.

Jana Andrés y Peña Carlos, "*Reparación del daño extracontractual, Edición, jurisprudencia y doctrina"*, texto preparado con la participación de los ayudantes Claudio Gutiérrez y Francisca Román, Santiago, Universidad de Chile, 2002.

Kranov Alexander, "*La propiedad estatal y el desarrollo económico: presente y futuro"*, *Aportes: Revista de la Facultad de Economía de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, 2003, Puebla, N° 23.

Lallement, Robert, *« Démantèlement des installations nucléaires : les voies de la maîtrise industrielle ».* RGN n° 5, Octubre-Noviembre, 2004.

Leppard Mike, "*Health and Safety Commission. An Overview of HSE's Relationship with the Office of the Gas and Electricity Markets (OFGEM)",* 2003.

Libertad y Desarrollo, "*Boletín 5251-08"*, Santiago, Libertad y Desarrollo, 2007.

López Andrés, *"Resolución N° 22 sobre proyecto de Hidroaysén",* Investigación realizada para el curso de Regulación de Servicios Públicos, Facultad de Derecho, Universidad de Chile, Santiago, 2009.

López Santa-María Jorge. *"Informe en Derecho sobre Contrato de Colaboración Empresarial", Revista chilena de derecho privado*, Nº 2, 2004.

López Sebastián, "*Garantía constitucional de la no discriminación económica"*, Santiago, Editorial Jurídica, 2006.

Magide Herrero Mariano, "*Límites constitucionales de las administraciones independientes"*, Madrid, INAP, 2000.

Martín Retortillo Baquer, Sebastián. "*Derecho Administrativo Económico",* Volumen I, La Ley, Madrid, 1988.

MIT, *"Future of Nuclear Power"*. An Interdisciplinary MIT Study. 2009.

Montt Oyarzún Santiago, "*El Dominio Público*. *Estudio de su Régimen Especial de Protección y Utilización"*. Santiago, Editorial Conosur-LexisNexis, 2002.

Morales Plaza Antonio, "*La regulación nuclear globalizada",* Madrid, La Ley, 2009.

Navarro Enrique, *"El recurso de amparo económico en la jurisprudencia (1990-1995)", Revista de Derecho Público*, 1995, Nº 57/58.

Niño Eduardo, "*La vigencia del principio de subsidiariedad en la actividad empresarial del Estado"*, Santiago, Lexis Nexis, 2006.

Nuclear Legislation in OECD Countries. *"Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*. *Belgium*", OECD,2003.

Nuclear Legislation in OECD Countries. "*Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Czech Republic"*, OECD, 2008.

Nuclear Legislation in OECD Countries. "*Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Germany"*, OECD, 2001.

Nuclear Legislation in OECD Countries. "*Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Netherlands"*, OECD, 1999.

Nuclear Legislation in OECD Countries. "*Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Spain"*, OECD, 2001.

Nuclear Legislation in OECD "*Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities*. *Switzerland"*, OECD, 2003.

OECD, "*Informe de Estado sobre filosofía de inspección reguladora, prácticas de inspección y organización de inspección"*. Grupo de trabajo sobre prácticas de inspección (WGIP), NEA/CNRA/R (2001) 8, París, 2001.

OECD "*Nuclear Regulatory Challenges Arising form Competition in Electricity Markets"*, 2001.

OECD, *"Radioactive waste management and decommissioning in Finland*". 2009 Report.

OECD,*"Radioactive waste management and decommissioning in the United States of America"*. 2007 Report.

OECD *"Radioactive waste management programmes in OECD/NEA member countries. United Kingdom".* 2005.

OIEA, "*Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica de los desechos radioactivos y del transporte"*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-R-1, Viena, 2000.

OIEA, "*Organización y plantilla del personal del órgano regulador para instalaciones nucleares"*. Serie de normas de seguridad OIEA N° GS-G-1.1, Viena, 2002.

Puga Vial Juan Esteban, "*Derecho Concursal. Juicio de Quiebras"*, Tomo II, Santiago, Editorial Jurídica, 1999.

Rivero Ortega Ricardo, "*Introducción al Derecho Administrativo Económico",* 2000.

Rufián Lizana Dolores, "*Manual de Concesiones de Obras Públicas"*. Santiago, Fondo de Cultura Económica, 1999.

Sánchez Morón, Miguel. "*Discrecionalidad administrativa y control judicial"*. Madrid, Editorial Tecnos, 1994.

Santamaría Pastor, Juan Alfonso. "*Principios de Derecho Administrativo"*. Madrid, Centro de Estudios Ramón Areces, 2002. Volumen II.

Schwartz Julia, *"Le droit international de la responsabilité civile nucléaire: l'après Tchernobyl"*, in *OECD,* 2006.

Soto Kloss Eduardo *"La Actividad Económica en la Constitución Política de la República de Chile"*, *Revista Ius Publicum,* 1999, Nº 2.

Stoiber C., Baer A., Pelzer N., Tonhauser W., "*Manual de Derecho Nuclear"*, Viena, OIEA, 2006.

STUK, *"Marco Regulador Nuclear: Experiencia internacional"*. Estudio para la Comisión Nacional de Energía de Chile, 2009.

Systep Ingeniería en Diseños, "*Análisis y propuesta de regulación núcleo – eléctrica"* 2010.

Tapia Javier, *"Carácter Anticompetitivo de los acuerdos restrictivos de la competencia en el sector retail", Libre Competencia y Retail*, Santiago, Legal Publishing, en prensa.

Tapia Mauricio "*Ciento Cincuenta años de responsabilidad extracontractual en Chile", in Responsabilidad civil. Liber amicorum a François Chabas*, Buenos Aires, Rubinzal-Culzoni Editores, 2007.

Tapia Mauricio, *"Algunos regímenes especiales de responsabilidad civil", in, Código Civil. 1855-2005. Evolución y perspectivas*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2005.

Tapia Mauricio, *"Le droit civil chilien et ses liens avec le droit français"*, inédito.

Tetley, Mark, *"La révision des Conventions de Paris et de Vienne sur la responsabilité civile – le point de vue des assureurs", Bulletin de Droit Nucléaire*, n° 75.

Universidad Adolfo Ibáñez y SENES Consultants Limited, "*Roles del Estado y del sector privado en la regulación nucleoeléctrica: Experiencia comparada aplicable a Chile".* Estudio preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile, 2008.

Urrutia Lorenzo, *"Concentración de la propiedad en el mercado de generación eléctrica en Chile"*, Investigación realizada para el curso de Mercados Eléctricos II, Santiago, Departamento de Ingeniería Eléctrica PUC, 2009.

Vallejo Rodrigo y Pardow Diego, *"Derribando mitos sobre el estado empresario", Revista Chilena de Derecho*, 2008, vol. 35, n.1.
Van Der Zwaan Bob, *"Prospects for nuclear energy in Europe"*.

Veloso Paulina, *"La previsibilidad es un requisito de la culpa y no de la relación causal", Nuevas tendencias del derecho*, Santiago, LexisNexis, 2004.

Vergara Blanco Alejandro, "*Derecho eléctrico"*, Santiago, Editorial Jurídica, 2004.

Vergara Blanco Alejandro, *"Estatuto general y principios del servicio público eléctrico chileno", Derecho de la Energía*, 2006.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Brazil"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Czech Republic"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Finland"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Germany"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Korea"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Netherlands"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Spain"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Sweden"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in Ukrainey"*, WNA, 2009.

World Nuclear Association, "*Nuclear Power in the United Kingdom"*, WNA, 2009.

Yescombe E.R., "*Public-Private Partnerships. Principles of Policy and Finance"*, Oxford, Elsevier, 2007.

Legislación Nacional:

1. Constitución Política de la República de Chile.
2. Código Civil.
3. Código de Minería.
4. Código Sanitario.
5. Código de Comercio.
6. Código Aeronáutico.
7. Ley de Concesiones de Obras Públicas.
8. Ley N° 9.618 que creó la ENAP.
9. Ley N° 16.319 que crea la Comisión Chilena de Energía nuclear.
10. Ley N° 16.282, para casos de sismos o catástrofes.
11. Ley N° 18.097, Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras.
12. Ley N ° 18.302 de Seguridad Nuclear.
13. Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional sobre Bases Generales de la Administración del Estado.

14. Ley N° 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades.

15. Ley N° 18.971 de Amparo económico.

16. Ley N° 19.175, sobre Intendencias y Gobernadores.

17. Ley N° 19.300 de Bases del Medio Ambiente.

18. La ley N° 19.496 de protección de los derechos de los consumidores.

19. Ley N° 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica.

20. Ley N° 19.825 del año 2002, que modificó Ley N ° 18.302 de Seguridad Nuclear.

21. Ley N° 19.966 sobre régimen de garantías en salud.

22. Ley N° 20.402 que Crea el Ministerio de Energía.

23. Decreto Ley N° 211, de 1973.

24. Decreto Ley N° 1.350 del 28 de febrero de 1976 que creó la Corporación Nacional del Cobre.

25. Decreto Ley N° 1.557, de 1976.

26. Decreto Ley 3.525 que crea el Servicio Nacional de Geología y Minería.

27. DFL N° 1 del 2005, del Ministerio de Salud.

28. DFL N° 251 de 1931, que regula las compañías de seguro.

29. DFL N° 340 de 1960, Ministerio de Defensa, sobre Concesiones Marítimas

30. DFL N° 458 de 1975, Ley General de Urbanismo y Construcción.

31. Decreto N° 133 del año 1984, del Ministerio de Salud, Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades.

32. Decreto Supremo N° 232 del año 1974, del Ministerio de Economía, Reglamento de Licencias de la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

33. Decreto Supremo n° 12 del año 1985 del Ministerio de Minería, que aprueba el Reglamento de Transporte Seguro Materiales Radiactivos.

34. Decreto Supremo N° 47 del año 1992, del Ministerio de Vivienda, Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

35. Decreto Supremo n° 132 del año 2002, del Ministerio de Minería, sobre Reglamento de seguridad minera.

36. Decreto Supremo n° 156 del año 2002, del Ministerio del Interior, sobre Plan Nacional de Protección Civil.

37. Decreto Supremo Nº 148 del año 2004 del Ministerio de Salud, que establece el Reglamento Sanitario sobre el Manejo de los Residuos Peligrosos.

38. Decreto Supremo N° 2 del año 2005, Ministerio de Defensa, Reglamento sobre concesiones marítimas.

39. Decreto Supremo N° 244 del año 2005 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que aprueba el reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos en la LGSE.

40. Decreto Supremo N° 291 del año 2008 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que aprueba el Reglamento que establece la estructura, funcionamiento y financiamiento de los CEDEC.

41. Decreto Supremo Nº 124 del año 2009 del Ministerio de Planificación, por el que se dictó el Reglamento sobre Consulta y Participación de los Pueblos Indígenas.

42. Ordenanza General de Aduanas, DFL Nº 30.

Legislación Internacional:

Alemania:

Ley de Energía Atómica.

Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de 1990.

Ley Federal de Minería de 1980.

Ley sobre Cese Estructurado de la Utilización de Energía Nuclear para Generación Comercial de Electricidad del año 2002.

Ley sobre el Uso Pacífico de la Energía Atómica y sobre la Protección contra los Riesgos de 23 de diciembre de 1959.

Ordenanza de Protección Radiológica de 1989.

Argentina:

Decreto N° 1540/94 de la Comisión Nacional de Energía Argentina, mediante el cual se crea el Ente Nacional Regulador Nuclear y se constituye la Sociedad Núcleoeléctrica Argentina S.A.
Ley Nº 25.018 que regula el Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos.

Bélgica:

Ley sobre el fondo de reserva para el desmantelamiento de plantas nucleares y la gestión de materiales fisionables irradiados en las plantas nucleares de 11 de abril del 2003.

Orden sobre protección de la radiación de 20 de julio de 2001.

Real Orden de 30 de marzo de 1981 que determina los deberes y requisitos para la operación del órgano público responsable de gestión de los residuos radioactivos y la gestión del material fisionable.

Brasil:

Ley de Política de Energía Nuclear Nacional.

Ley Nº 4118 de 1962, que crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear.

Ley Nº 10.308 del 2001 de desechos radioactivos.

Canadá:

Ley de Desechos de Combustible Nuclear (2002).

Nuclear Safety and Control Act (1997).

Nuclear Fuel Waste Act (2002).

Corea del Sur:

Atomic Energy Act (1958).

Electricity Business Act.

National Radioactive Waste Management Policy (2009).

España:

Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.

Ley 25/1964, de 29 de Abril, sobre energía nuclear.

Ley 15/1980, sobre creación del Consejo de Seguridad Nuclear (reformada Ley 33/2007) que establece un proceso de evaluación continua que asegura en todo momento que las instalaciones funcionan con las debidas garantías de seguridad.

Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector Hidrocarburos, Disposición Adicional Undécima.

Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.

Real Decreto 1349/2003, de 31 de octubre, sobre ordenación de las actividades de la Empresa Nacional de financiación.

Real Decreto-Ley 4/2006, de 24 de febrero, por la que se modifican las funciones de la CNE.

Estados Unidos:

Atomic Energy Act (1992).

Price Anderson Act (1957).

Energy Policy Act (1992).

Ley de Política de Desechos Nucleares (1982).

Low-level Radioactive Waste Policy Act (1980 y 1985).

Memorandum of Agreement between the U.S. Nuclear Regulatory Commission and the Federal Energy Regulatory Commission (2009).

Memorandum of Understanding between the Gas and Electricity Markets Authority, the Health and Safety Commission and the Health and Safety Executive (2001).

Nuclear Waste Policy Act (1982).

Finlandia:

Nuclear Energy Act 990/1987.

Decree No. 161/1988 (reglamento de ley anterior).

Francia:

Código Ambiental.

Código Civil.

Decreto N° 91-355 del 12 abril 1991.

Decreto Nº 73-322 de 15 de Marzo de 1973, que regula el seguro y reaseguro de riegos excepcionales y nucleares por la *Caisse Centrale de Reassurance.*

Ley N° 68-943 del 30 octubre 1968 relativa a la responsabilidad civil en el ámbito de le energía nuclear. Modificada por la Ley N° 90-488 del 16 de junio de 1990, y por la Ley N° 2006-686 del 13 de junio de 2006.

Ley Nº 91-1381 de 30 de diciembre de 1991 sobre Investigación de la Gestión de Residuos Radioactivos (Francia)

Ley Nº 739, de 28 de junio de 2006, sobre Gestión Sustentable de los Materiales y Desechos Radiactivos.

Ley N° 686/06, sobre Transparencia y Seguridad en Materia Nuclear.

Holanda:

Ley de Energía Nuclear.

Japón:

Código Civil Japonés.

Ley N° 147 de Compensación por Daño Nuclear del 17 de junio de 1961.

Ley N° 148 sobre Acuerdos de Indemnización por Compensación por Daño Nuclear del 17 de junio de 1962.

Ley Nº 166 de 1957 para la Regulación de Material Nuclear de fuente Primaria, Material Combustible Nuclear y Reactores.

Reglamento N° 44 que implementa la Ley de Compensación por Daño Nuclear del 6 de marzo 1962.

Reglamento N° 45 que implementa la Ley sobre Acuerdos de Indemnización por Compensación por Daño Nuclear del 6 de marzo 1962.

Reino Unido:

Acta de Exportaciones e Importaciones de 1939, reformada en 1979.

Energy Act del 2004.

Ley de sustancias radioactivas de 1993.

Ley sobre Instalaciones Nucleares de 1965.

República Checa:

Ley de Energía Nuclear.

Ley de Uso Pacífico de Energía Nuclear y Radiación Ionizante, Act No. 18/1997.

Ley Nº 100/01 sobre Evaluación de Impacto Ambiental de la República Checa del 2001.

Suecia:

Ley de Minerales 1991:45.

Ley sobre Actividades Nucleares.

Suiza:

Ley Federal sobre Energía Nuclear del 21 de marzo del 2007.

Ley Federal de Inspección de Seguridad Nuclear.

Ordenanza sobre Energía Nuclear, 10 de diciembre del 2004.

Ordenanza sobre el Fondo de Desmantelamiento y el Fondo de Eliminación de fecha 7 de diciembre del 2007.

Tratados Internacionales:

Convenio de Paris acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de. Energía Nuclear, de 29 de julio de 1960, enmendada por el Protocolo Adicional del 28 de enero de 1964, por el Protocolo del 16 de noviembre de 1982 y por el Protocolo del 12 de febrero del 2004.

Convenio Complementario al Convenio de Paris del 29 de julio de 1960 acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, firmado en Bruselas el 31 de enero de 1963.

Convención de Viena acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Daños Nucleares, del 21 de mayo de 1963

Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias de 1972.

Convención sobre Protección Física de Materiales Nucleares de 1980.

Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares de 1986.

Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica de 1986.

Protocolo Común acerca de la Aplicación del Convenio de Paris y del Convenio de Viena, del 21 de septiembre de 1988.
Convención de Espoo, sobre Evaluación del Impacto Ambiental en un Contexto Transfronterizo, de 1991.

Declaración de Río de Janeiro de 1992, adoptada por las partes en la "Cumbre de la Tierra" de las Naciones Unidas.

Convención sobre de Seguridad Nuclear de 1994.

Convenio sobre Compensación Suplementaria, del 12 de septiembre de 1997.

Protocolo de enmienda de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares , aprobado el 29 de septiembre de 1997.

Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos de 1998.

Protocolo de Kiev, sobre Evaluación Ambiental Estratégica, de 2003.

Protocolo de Enmienda al Convenio de Paris acerca de la Responsabilidad Civil en Materia de Energía Nuclear, del 12 de febrero del 2004.

Protocolo de Enmienda al Convenio de Bruselas de 1963, del 12 de febrero del 2004.

Acuerdo de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL), vigente en Chile desde el año 2006.

Recursos en línea:

ALPIQ, *"Alpiq as a Corporation"*, [en línea]. 2009, (fecha de revisión 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.alpiq.com/investor-target-group/alpiq-share/our-shareholders/alpiq-as-a-corporation.jsp

American Nuclear Insurers. *Need for Nuclear Liability Insurance*. [en línea], Mayo 2009 (Fecha de revisión: 22 de enero del 2010). Disponible en Internet:

http://www.nuclearinsurance.com/library/Nuclear%20Liability%20in%20the%20US.pdf

Areva, *"Shareholders Corner"* [en línea], París, 2009, (fecha de revisión: 03/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.areva.com/servlet/finance/shareholderscorner-en.html

Cez Group, *"Shareholders structure",* [en línea]. 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.cez.cz/en/investors/shares/structure-of-shareholders.html

Coopers & Lybrand, *"Institutional framework", Working Paper N° 5, 1997*, [en línea] (Fecha de revisión: 27 de noviembre de 2009). Disponible en Internet: http://www.eletrobras.gov.br/downloads/EM_Atuacao/relatorio_ing/Stage%20II%20and%20III/Working%20Papers%20C/WPC5.pdf

Coopers & Lybrand, "The organisation of ANEEL", Working Paper N° 2, 1997, p. 29 [en línea] (Fecha de revisión: 27 de noviembre de 2009). Disponible en Internet: http://www.eletrobras.gov.br/downloads/EM_Atuacao/relatorio_ing/Stage%20II%20and%20III/Working%20Papers%20C/WPC2.pdf

Decisión del Consejo C(2009)182 Final 15 de diciembre de 2009. "*Accesion of Chile to the Organization*", [en línea], (Fecha de revisión: 22 de enero del 2010). Disponible en internet:
http://www.google.cl/search?hl=es&source=hp&q=C%282009%29182%2FFINAL&meta=&aq=f&oq=
Eletrobrás*, "O papel da Eletrobrás",* [en línea]. 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS641DB632ITEMIDENIE.htm
Eletronuclear, *"A ELETRONUCLEAR"* [en línea]. 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.eletronuclear.gov.br/empresa/index.php?idSecao=1

ENRESA. "*Quienes somos",* [en línea] (Fecha de revisión: 29 de noviembre de 2009). Disponible en Internet: http://www.enresa.es/nosotros/quienes_somos
ENRESA. "*Quienes somos*, *¿Por qué se crea Enresa ?",* [en línea] (Fecha de revisión: 29 de noviembre de 2009). Disponible en Internet:
http://www.enresa.es/nosotros/quienes_somos

Fiscalía Nacional Económica, *Guía interna para el análisis de operaciones de concentración económica*, [en línea], 2006, p. 15. (Fecha de revisión: 22 de enero del 2010). Disponible en Internet:
http://www.fne.cl/?content=guia_investigacion

Fortum, *"Major shareholders"* [en línea], 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.fortum.com/general_framelink_body.asp?path=14022;14024;14026;14043;14086;14088;19554;24847

Goedde. Patricia,"*In Search of a Civil Nuclear Liability Regime for South Korea*", [en línea], Revista Asian Perspective, Vol. 27, Nº 1, 2003, pp. 229-230 (Fecha de revisión: 22 de enero del 2010). Disponible en Internet:
http://www.asianperspective.org/articles/v27n1-h.pdf

Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd, *"Shareholder information",* [en línea]. 2009, (fecha de revisión 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.khnp.co.kr/en/010100

"Länderausschuss Bergbau. *Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Der Bergbau in der Bundesrepublick Deutschland 2005"*, Berlin, 2006, p. 35. [en línea]. Disponible en Internet:
http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/doku559,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf.

Morningstar, *"Korea Electric Power Corporation ADR",* [en línea]. 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://shareholders.morningstar.com/owners/OwnersOverview.aspx?t=KEP&region=USA

NAGRA. "*El Programa de Gestión de Residuos",* [en línea] (Fecha de revisión: 22 de noviembre de 2009). Disponible en Internet:
www.nagra.ch/g3.cms/s_page/83760/s_name/thewastemanagementprogramme

NYSE Euronext, *"Korea Electric Power Corporation"* [en línea]. 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.nyse.com/about/listed/kep.html

"Panorámica del régimen de responsabilidad modernizado del OIEA", [en línea] (Fecha de revisión: 29 de noviembre de 2009). Disponible en Internet:
http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC48/GC48InfDocuments/Spanish/gc48inf-5_sp.pdf

Parent Company Vattenfall AB, *"Note 22 Shares and participations held by the Parent Company Vattenfall AB and other Group companies",* [en línea]. 2009, (fecha de revisión 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://report.vattenfall.com/annualreport2008/Menu/Notes+to+the+consolidated+accounts/Note+22+Shares+and+participations+held+by+the+Parent+Company+Vattenfall+AB+and+other+Group

Patrik, Gary. *Syllabus of Basic Education. Chapter 7 "Reinsurance*" [en línea], 2010 (Fecha de revisión: 22 de enero del 2010). Disponible en Internet:
http://www.casact.org/admissions/syllabus/ch7.pdf

Política Nacional de Recursos Hídricos, [en línea], Santiago. 1999. (Fecha de revisión: 22 de enero del 2010). Disponible en Internet:
http://www.dga.cl/otros/documentos/Politica_Recursos_Hidricos.pdf

Reinsurance Association of America. *Fundamental of Property and Casualty Reinsurance", [*en línea]. (Fecha de revisión: 22 de enero del 2010). Disponible en Internet :
http://www.reinsurance.org/files/public/07FundamentalsandGlossary1.pdf

TVO, *"Ownership and finances",* [en línea]. 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.tvo.fi/www/page/261/

Urenco, *"Company structure",* [en línea]. 2009, (fecha de revisión: 3/12/2009). Disponible en Internet:
http://www.urenco.com/content/17/Company-structure.aspx