



Consideraciones para el Emplazamiento de una Central Nuclear de Potencia (CNP) en Chile

Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)
Oficina Desarrollo Estratégico y Energía Nuclear de Potencia

19 de Octubre de 2018

1. Resumen Ejecutivo	3
2. Contexto General	4
3. Objetivos	5
3.1 Objetivo Principal	5
3.2 Objetivos Específicos	5
4. Metodología para la selección del emplazamiento (IAEA)	6
4.1 Principios Básicos de Seguridad	6
4.2 Consideraciones para la selección de sitio	7
4.3 Criterios de Evaluación	9
4.4 Metodología de Evaluación del sitio	10
5. Metodología de Evaluación utilizada en este estudio	12
6. Otras Consideraciones	25
6.1 De la Estimación del Peligro Sísmico en Chile	25
6.2 Consideraciones Territoriales	34
7. Resultados	37
8. Conclusiones y Recomendaciones	42
9. Referencias	44
Anexos	48

1. Resumen Ejecutivo

El presente informe presenta un estudio preliminar sobre las condiciones para el emplazamiento de una Central Nuclear de Potencia (CNP) en Chile, realizado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear. El objetivo principal fue levantar información acerca de los aspectos más importantes que deben ser considerados para este proceso y al mismo tiempo realizar un primer ejercicio a nivel nacional.

La finalidad principal de este ejercicio fue identificar las principales restricciones existentes a nivel nacional para el emplazamiento de este tipo de instalaciones, ya sea de tipo geográfico y geológico, como también aquellos dados por planes, políticas y lineamientos regionales existentes.

Para el desarrollo de este ejercicio, se utilizó como guía la metodología recomendada por la International Atomic Energy Agency (IAEA), la cual consiste en un análisis inicial de áreas extensas, para luego identificar sitios potenciales sobre los cuales se van aplicando criterios que excluyen los sitios menos favorables, hasta llegar finalmente a un ranking de sitios idóneos, que cumplen con todas las características deseadas.

En este estudio en particular, se realiza un análisis a nivel regional donde sólo se aplican criterios excluyentes, es decir, aspectos que ningún control de ingeniería, administrativo o de seguridad pueda compensar, por lo que su presencia restringe el emplazamiento de una Central Nuclear de Potencia. Los criterios utilizados fueron: áreas de interés natural (áreas protegidas), áreas de interés cultural y zonas de peligro, los cuales fueron representados través de mapas regionales. El estudio no identifica un sitio idóneo ya que su selección final requerirá de estudios técnicos mucho más específicos en zonas más limitadas.

Como resultado final, se observa que la zona del norte del país cuenta con mayores áreas disponibles a considerar para un potencial proyecto nuclear. Esto no descarta que se puedan realizar estudios futuros en otras zonas al sur del país donde existen áreas disponibles más acotadas.

Otras variables como la sismicidad, aspectos territoriales y aspectos sociales juegan un rol importante en la selección del emplazamiento. Sin embargo, no constituyen necesariamente un criterio excluyente para la selección de sitio. Las implicancias territoriales que puede traer consigo el emplazamiento de una CNP también conviene ser consideradas ya que pueden influir de forma importante en el desarrollo social y económico de una región en particular. Sin embargo, esto debe realizarse pero en una fase posterior, una vez sorteados los aspectos de categoría de exclusión.

La evaluación que se presenta en este informe es de carácter preliminar y puede ser utilizada como una guía para un futuro proceso de evaluación de emplazamiento para una CNP. La identificación y selección de sitios idóneos sin embargo, deber ser resultado de una evaluación técnica mucho más específica y multidisciplinaria y en sitios acotados en particular.

2. Contexto General

La “Política Energética 2050” del Gobierno de Chile establece objetivos estratégicos en materia energética para ser cumplidos al 2035 y 2050 con el objetivo de disminuir las emisiones de gases efecto invernadero y proporcionar seguridad y calidad de suministro al sistema. Si bien la tecnología nuclear no está incluida como una opción a corto plazo, se considera esta opción dentro de la próxima revisión de la Política Energética, al año 2020, de modo de evaluar la conveniencia de su incorporación en la matriz energética chilena. La tarea de realizar los estudios es asignada a la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) en conjunto con los organismos del estado pertinentes.

Dentro de las temáticas a analizar, la selección del emplazamiento para una Central Nuclear de Potencia adquiere especial relevancia debido a los criterios de seguridad que se deben cumplir los que obedecen a recomendaciones generales establecidas por la International Atomic Energy Agency (IAEA). Existen además criterios socio-económicos, medioambientales y logísticos que también deben ser considerados. Complementario a esto, la evaluación debe ser adaptada al contexto socio-económico del país y sus características geográficas, sociales, territoriales, entre otros.

La metodología de trabajo utilizada en este estudio consistió en realizar un levantamiento de antecedentes bibliográficos en publicaciones, normativas y guías técnicas principalmente de la International Atomic Energy Agency así como también de experiencias internacionales en Estados Unidos, Japón, Canadá entre otros. Desde el punto de vista territorial se revisaron las estrategias de desarrollo, instrumentos de planificación territorial y planes de desarrollo energético regionales vigentes del país. Además se consultó a expertos del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile con el fin de contar con su visión sobre cómo incorporar el riesgo sísmico en este tipo de proyectos.

En la evaluación de emplazamiento realizada en este estudio se consideró una escala regional y no se identifica un sitio específico donde ubicar una CNP. Por tanto es importante destacar que esta visión macro constituye una guía para a ser considerada en una evaluación posterior que cuente con estudios más detallados y específicos dependiendo de la potencial zona de emplazamiento.

Es importante destacar también que el estudio se realizó considerando requerimientos de emplazamiento para reactores nucleares tradicionales, es decir, condiciones de emplazamiento conservadoras, que no consideran la evolución en materia de reactores de nueva tecnología, cuyos requisitos de emplazamiento pudiesen ser menos restrictivos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Principal

- Exponer las principales consideraciones al momento de seleccionar lugares de emplazamiento para centrales nucleares de potencia en Chile.

3.2 Objetivos Específicos

- Proponer una metodología para la selección de emplazamiento de una CNP independiente de la tecnología seleccionada.
- Realizar una primera exclusión de zonas en Chile según información cuantificable disponible y representarla en mapas regionales.
- Identificar otros factores a considerar que potencialmente podrían facilitar o dificultar el emplazamiento de centrales nucleares.

4. Metodología para la selección del emplazamiento (IAEA)

De acuerdo a la IAEA, el proceso para seleccionar el emplazamiento de una central nuclear debe comenzar por la evaluación de una región amplia, para luego seleccionar uno o más sitios candidatos, los cuales a su vez deben ser evaluados detalladamente de acuerdo a ciertos parámetros específicos. Posterior a la selección, el “Organismo Regulador” debe establecer las condiciones para aceptar o rechazar el sitio basado principalmente en condiciones de seguridad (Coman, 2018). Todo esto, considerando que ya existe un programa nuclear establecido y que el país cuenta con un marco normativo que incluye regulación para el proceso de selección de sitio.

Además, se recomienda que el proceso de selección sea realizado en el marco de un sistema de gestión sistemático, planeado y documentado, de modo de asegurar que se cuente con un estándar que garantice resultados trazables y de calidad.

La metodología recomienda recopilar las consideraciones más relevantes desde el punto de vista de seguridad, salud, protección física, ingeniería, costos, ambientales y socioeconómicos. Posteriormente, estos aspectos son analizados de acuerdo al contexto de cada país y dependiendo de su importancia se clasifican como criterios que excluyen, evitan o aceptan un sitio determinado. Estos aspectos han sido evaluados internacionalmente en los procesos de selección de lugares de emplazamiento para planta ubicados en países como Estados Unidos, China y Rusia entre otros.

4.1 Principios Básicos de Seguridad

El objetivo principal de la seguridad en la selección de emplazamiento de acuerdo a la IAEA (2016) es proteger a las personas y el medioambiente de los efectos dañinos de la radiación ionizante. La seguridad de una central nuclear debe considerar todo su ciclo de vida, y se garantiza mediante su correcto emplazamiento, diseño, construcción y puesta en servicio, y posteriormente, mediante la gestión y operaciones adecuadas y su eventual proceso de desmantelamiento.

Con respecto al emplazamiento, las vías preferentes para asegurar que los riesgos asociados a la operación de una central se mantienen aceptablemente bajos, son el propio diseño de la instalación nuclear y la adopción de medidas de protección de la planta. Si fuera necesario, también deben aplicarse procedimientos administrativos propios del titular como garantía. Los requisitos generales a considerar con respecto a la seguridad en un estudio de emplazamiento son los siguientes (IAEA, 2016):

- Los sucesos externos de origen natural y humano, incluso los de baja probabilidad de ocurrencia.
- Características del emplazamiento que puedan influir en la transferencia de los efluentes radiactivos liberados (gases, líquidos o sólidos) a las personas y al medio ambiente.

- Densidad y distribución de población, y demás factores del emplazamiento que puedan influir en la implantación de medidas o planes de emergencia.

Si de la evaluación se deduce que no hay protección adecuada ni es posible adoptar medidas de compensación (mejor diseño, menos riesgos, limitaciones a la operación entre otros), entonces el emplazamiento debe considerarse inapropiado (IAEA, 2016).

4.2 Consideraciones para la selección de sitio

Con respecto a los criterios generales de seguridad, todo emplazamiento potencial de una CNP debe evaluarse para determinar los efectos que la misma pueda tener en la población y medio ambiente circundantes, así como también los condicionantes que el emplazamiento pueda imponer sobre el diseño de la central. La evaluación tendrá en cuenta factores como: demografía, meteorología, hidrología superficial y subterránea, geología, geotecnia, sismología, usos de suelo y aguas, factores ecológicos y medioambientales y factores imputables al ser humano. Son de particular importancia la densidad de población y su distribución en el entorno durante toda la vida de la instalación, los que deben ser evaluados de forma periódica para asegurar la viabilidad permanente de los planes de emergencia (evaluación del emplazamiento).

Se debe considerar así mismo la disponibilidad de los servicios ubicados fuera del emplazamiento, de los que pueda depender la seguridad de la central y la protección de la población; por ejemplo, los servicios de suministro de electricidad, los servicios contra incendios, accesos, comunicaciones, servicios de emergencia y hospitales, entre otros.

También es relevante considerar los riesgos asociados a los sucesos externos, ya sean naturales o debidos a la acción humana, y la interacción entre ellos, así como la frecuencia y severidad de los sucesos y su evolución previsible a lo largo de la vida útil de la CNP. En una fase inicial de análisis, como lo correspondiente a este estudio, se debe considerar que la valoración que puede hacerse de ello es sólo referencial, ya que la exclusión de un emplazamiento en virtud de los fenómenos externos tendría que ser evaluada a partir del correspondiente análisis de riesgos específico del emplazamiento en particular, una vez que este haya sido debidamente caracterizado.

Para asegurar que los riesgos asociados al emplazamiento se mantienen aceptablemente bajos, las vías preferentes son, por orden de prioridad:

- a) El propio diseño de la planta,
- b) Medidas de protección física,
- c) Aplicación de procedimientos operativos (medidas administrativas)

A lo largo de toda la vida útil de la planta, se debe evaluar de forma permanente todos los cambios en los factores del emplazamiento, de modo de garantizar que se mantienen las condiciones de seguridad y la base de diseño. Dependiendo de su alcance, estos aspectos pueden ser divididos

en 4 áreas de influencia: Salud, Seguridad Y Protección Física; Ingeniería y Costos; Socio-Económicos y Ambientales (IAEA, 2015) como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Algunos aspectos a considerar en el emplazamiento de una CNP

Área de Influencia	Aspectos
Salud, Seguridad Y Protección Física	Densidad poblacional (límites urbanos)
	Sismicidad, peligro de remoción en masa
	Fallas
	Riesgo de inundación por tsunamis
	Peligro por volcanes
	Meteorología
	Cercanía a instalaciones peligrosas o instalaciones militares
	Riesgo de aerochoques (presencia de aerovías, aeropuertos)
	Focos de fuego o incendios forestales
Ingeniería y Costos	Existencia de suministro eléctrico
	Existencia de suministro de agua para refrigeración
	Existencia de líneas de transmisión
	Conectividad y cercanía a centros de suministro y servicios
Socioeconómicos	Existencia de zonas indígenas
	Existencia de zonas de interés patrimonial y/o arqueológico
	Cercanía a zonas turísticas
Ambientales	Zonas protegidas
	Zonas vulnerables ambientalmente

Para el desarrollo de este estudio no se consideraron los aspectos meteorológicos, cercanía a instalaciones peligrosas o instalaciones militares ni focos de fuego o incendios forestales debido a que estos aspectos resultan relevantes de considerar cuando el área ya se encuentra definida y se está en proceso de seleccionar un sitio específico idóneo.

Así mismo, los aspectos asociados a criterios de suministros eléctrico, líneas de transmisión cercanía a servicios y suministro de agua para refrigeración tampoco fueron evaluadas ya que no representan necesariamente criterios para excluir un sitio sino que constituyen principalmente un análisis de costos o control de ingeniería, los cuales pueden más altos o bajos dependiendo del sitio elegido.

Específicamente en el caso del suministro de agua, la planta requiere contar con una fuente de agua disponible para su refrigeración, ya sea agua de mar, río o lago, con un caudal disponible constante. La distancia que pueda existir entre la fuente de agua y la planta implicaría que el proyecto sea más o menos costoso (por ejemplo: requerir de construcción de embalses) razón por la cual en su mayoría las CNPs están ubicadas muy cerca una fuente de agua.

Algunos ejemplos de CNPs y su cercanía a fuentes de agua de refrigeración:

- Argentina, la Central Atucha 1 se encuentra aproximadamente 500 mt de la ribera del Río Paraná.
- Palo Verde la planta más grande de Estados Unidos se encuentra en el medio del desierto y utiliza el agua depurada de las redes de alcantarillados de comunas aledañas para su sistema de refrigeración.
- La planta nuclear STP Nuclear Operating Co. (Estados Unidos) está a 5 km del Río Colorado y cuenta con un tranque de para refrigeración.
- Canadá, la central nuclear Bruce se encuentra ubicada a 1 km del lago Huron.
- En Japón la Planta Kashiwazaki-Kariwa ubicada a 600 mt del Mar de Japón.
- Rusia, Rostov Nuclear Power Plant se encuentra a menos de 1 km de la reserva de agua Tsimlyansk (2.700 km²).

Este criterio puede ser evaluado cuando ya se definan áreas más extensas que se encuentran definitivamente excluidas.

4.3 Criterios de Evaluación

Dependiendo de las características de cada país, los aspectos citados en el apartado anterior pueden presentar una mayor o menor relevancia. La guía “Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants” (IAEA, 2012) plantea el uso de tres criterios: Exclusión, Elusión e Idoneidad, los que son explicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios utilizados en la evaluación

Exclusión	Elusión	Idoneidad
Este criterio es utilizado en etapas tempranas de los proyectos. Si el requerimiento es categorizado como de “exclusión” y no se cumple, el potencial sitio de emplazamiento es descartado completamente .	Este criterio no es definitivo para descartar un potencial sitio de emplazamiento. Es un criterio que permite seleccionar lugares más o menos favorables que otros pero sin descartarlos por completo.	Este es un criterio que define si un lugar es idóneo y es utilizado en las últimas de etapas de la evaluación.

4.4 Metodología de Evaluación del sitio

De acuerdo a la metodología “Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations” (IAEA, 2015), existen dos procesos para abordar la evaluación del emplazamiento de una CNP: (1) **Proceso de Emplazamiento** y (2) **Evaluación del Emplazamiento**. Estos dos procesos se dividen en cinco etapas como se ilustra en la Figura 1.

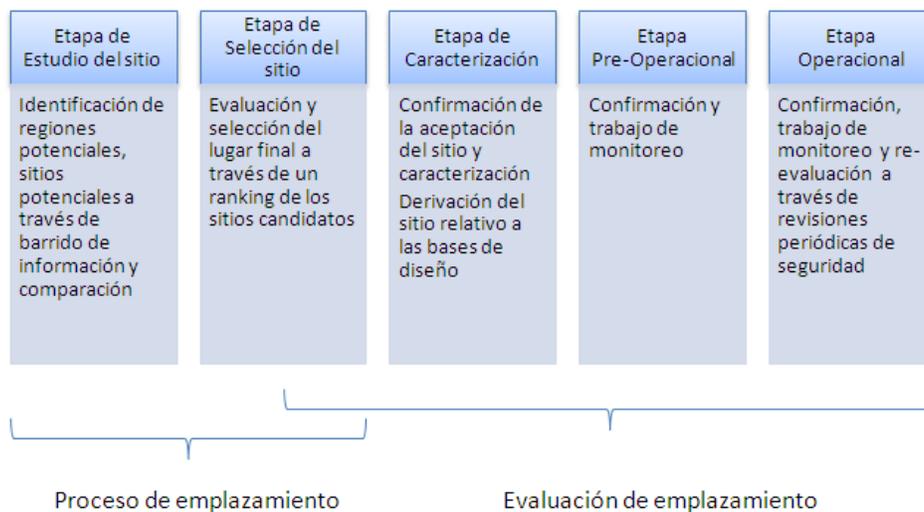


Figura 1. Etapas en el proceso de emplazamiento y evaluación del sitio durante el ciclo de vida de la instalación nuclear

Desde el inicio del proceso de selección del emplazamiento para una CNP, hay que tener en cuenta los principios básicos y los criterios generales de seguridad ya citados anteriormente,

aunque la evaluación de los factores progresa en grado de detalle conforme avanzan las fases de selección de sitios hasta la obtención de un ranking de sitios candidatos.

El proceso a seguir para la selección de emplazamiento considera:

- a) Proceso de emplazamiento: Este proceso comienza con un análisis regional donde se selecciona un área de interés extensa y se escoge una serie de sitios para su evaluación. Después de un barrido de los sitios se aplican criterios de elusión donde se identifican sitios más favorables que otros. Finalmente se selecciona el sitio más idóneo para el emplazamiento.
- b) Caracterización del sitio: Se realiza un levantamiento de las características del sitio elegido y se confirma su idoneidad.
- c) Etapa Pre-Operacional: Durante la etapa de diseño, ensamblaje, construcción y comisionamiento se re evalúan y monitorean las características del sitio elegido.
- d) Etapa Operacional: Durante la operación se deben incorporar revisiones periódicas de seguridad que incluyan aspectos normativos, controles operacionales y cualquier modificación en las bases de diseño u operacionales.

5. Metodología de Evaluación utilizada en este estudio

Para el desarrollo de este estudio se definieron y recopilaron las consideraciones más relevantes aplicables en Chile y se evaluaron de acuerdo a los criterios para eliminar áreas que no cumplan con las consideraciones identificadas como “excluyentes”, es decir, aspectos que ningún control de ingeniería, administrativo o de seguridad pueda compensar (Coman, 2018).

Como se ha mencionado anteriormente, debido a los alcances del estudio y la información disponible, el proceso de selección de sitio sólo incluye el estudio hasta la etapa de “análisis regional” requiriéndose a futuro la realización de estudios más específicos e interdisciplinarios para lograr la identificación de un “sitio idóneo”.

Para el desarrollo del estudio se realizó una revisión de la información existente y disponible para todo el territorio nacional. La información se obtuvo de organismos públicos, principalmente de sus Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), responsables de levantar y/o compilar dicha información. Además, se estandarizaron parámetros geodésicos de las diferentes fuentes de información.

En el análisis de las restricciones se procesaron las distintas variables espaciales, de acuerdo con lo establecido en los cuerpos normativos que en sus gravámenes restringen el emplazamiento o desarrollo de la actividad energética, instrumentos de planificación, áreas de potenciales peligros naturales o derivados de la acción humana.

Para la delimitación de las áreas de influencia se consideraron los criterios más restrictivos recomendados para actividades de generación eléctrica, así como recomendaciones de los reguladores de la industria nuclear internacional. La representación de la información se realizó a escala regional, ya que esta escala permite hacer un análisis homogéneo para las distintas zonas del país, graficando lo que ocurre en un territorio con características similares, y permite entender también el territorio como un todo complejo y dinámico y las interrelaciones existentes entre las diversas variables.

Para el análisis, se utilizaron las consideraciones aplicadas en los PER (Planes Energéticos Regionales), desarrollados por el Ministerio de Energía, para las áreas valoradas en mesas de trabajo colaborativas con la comunidad: Este trabajo permitió considerar las distintas componentes del territorio y establecer así una área de influencia desde las áreas de interés en las que se recomienda no emplazar actividades de producción energética.

El detalle de las exclusiones de cada variable, el origen de la prohibición o su sugerencia de exclusión y la fuente de información de la información utilizada en el Sistema de Información Geográfico (SIG) está disponible en la Tabla 3.

Tabla 3. Criterios de exclusión de sitio

Capas	Valor utilizado	Justificación del Valor Utilizado	Fuente de las Capas
Red Vial	70 metros. Análisis de casos de caminos construidos más 35 metros de prohibición de construcción de edificaciones permanentes.	Artículo 39º DFL N° 850 del 12/09/97. Se prohíbe a los dueños de los predios colindantes con los caminos públicos nacionales, ocupar las fajas de 35 metros medidos a cada lado de los cierros actuales o los que se ejecuten en variantes o caminos nuevos nacionales, con construcciones de tipo definitivo que en el futuro perjudiquen su ensanche.	Ministerio de Obras Públicas (MOP). Red caminera de Chile.
Peligro de Remoción en Masa	Exclusión en zonas de pendientes: Sobre 15 grados: Riesgo medio de remoción en masa. Sobre 25 grados: Riesgo alto de remoción en masa.	15 grados: Caracterización de riesgos naturales para el desarrollo de un programa Núcleo Eléctrico en Chile (factores condicionantes y desencadenantes de remoción en masa). (Dpto. Geología U. de Chile 2009). Rangos de Pendiente según umbral geomorfológico Araya-Vergara 1972, Young 1993, Ferrando 1993. 25 grados: Garantías de proveedores. Ministerio de Energía-GIZ Energías renovables en Chile; el potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé. PERs Ministerio de Energía. Guía EPRI, 2002 Normativa Gosatomnadzor of Russia, 2004.	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) resolución de 30 metros. CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) (2018). SRTM 90m Digital Elevation Data.
Riesgo de Inundación por Tsunami	30 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar)	Se fusionó la información provista por las Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU) del SHOA para las 52 localidades estudiadas y la línea de seguridad propuesta por ONEMI en sus planes de evacuación. Definida como el área contenida en la zona costera, establecida a una altura superior a 30 metros sobre el nivel del mar (cota 30), siguiendo la recomendación internacional dada por el International Tsunami Information Center (ITIC)”. La modelación de tsunamis ha sido utilizada para discriminar entre diferentes escenarios posibles (i.e. localización de la fuente y	Servicio Hidrológico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) Sitio de Cartas de Inundación Oficina Nacional de Emergencia del

		mecanismos de ruptura) que puedan afectar a una región en particular, elaborando una Carta de Inundación para el evento sísmico más extremo, ya sea conocido o probable. (SHOA) // Línea de Seguridad, modificada por ONEMI luego del terremoto de 2010, desde 20 m.s.n.m.m. a 30 m.s.n.m.m. 2018. Plan Específico De Emergencia Por Variable De Riesgo – Tsunami. (Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI), 2018. Plan Específico De Emergencia Por Variable De Riesgo – Tsunami)	Ministerio del Interior (ONEMI, 2018)
Fallas	Representación gráfica de la línea proyectada en superficie.	Electric Power Research Institute (EPRI, 2002). Se utilizó la información de fallas potencialmente sismogénicas otorgada por ONEMI. La dimensión fue la dada por la línea proyectada en superficie la aproximación es gráfica, pero no tiene una envergadura definida	Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI)
Peligro Volcanes	Distancias variables, de acuerdo a: Áreas de peligro específico para los Volcanes que el servicio Nacional de Geología y Minería ha hecho estudios y Áreas de peligro general para los que el SERNAGEOMIN no ha hecho los estudios pertinentes (valores también calculados por SERNAGEOMIN).	Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2011). Peligros Volcánicos de Chile. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental. Escala 1:2.000.000 Alto peligro de lavas, lahares y flujos piroclásticos y avalanchas (LLPF). Representa el sector más susceptible de ser afectado por lavas, lahares y flujos piroclásticos, además de proyecciones balísticas, como consecuencia de erupciones en un amplio rango de magnitudes a partir del edificio principal y centros adventicios o adyacentes. Corresponde al área afectada por los procesos más recurrentes que incluyen al edificio principal, los valles y laderas cercanas. Los instrumentos de planificación deben considerar esta condición y promover medidas de mitigación tales como la vigilancia instrumental de los volcanes fuente, disponibilidad de mapas de peligro volcánico a escalas adecuadas y con distinción de los	Servicio Nacional de Geología y Minería (Geoportal SERNAGEOMIN)

		<p>procesos, restricción a las obras de infraestructura pública mayor y planes de contingencia.</p> <p>Bajo peligro de lahares y flujos piroclásticos. Representa el sector menos susceptible de ser afectado por lahares y flujos piroclásticos, como consecuencia de erupciones de alta magnitud a partir del edificio principal y centros adventicios o adyacentes. Corresponde al área afectada por procesos poco recurrentes, generalmente sin expresión en el registro histórico, capaces de generar flujos de alta movilidad que podrían desplazarse grandes distancias por los valles o exceder los altos topográficos.</p> <p>Caída de Piroclastos: Alto, Medio y Bajo</p>	
Glaciares	Área de influencia del glaciar 500 metros en la proyección horizontal del límite del glaciar.	La Ley N° 20.283 sobre Bosque Nativo (Ministerio de Agricultura, 2008), contempla esta clase de prohibiciones respecto de la actividad forestal. En concreto, la ley dispone: "Prohíbese la corta, destrucción, eliminación o menoscabo de árboles y arbustos nativos en una distancia de 500 metros de los glaciares, medidas en proyección horizontal en el plano"	Dirección General de Aguas (Mapas DGA)
Aerovías	Proyección en superficie de las aerovías de aeronaves de mayor envergadura.	La capa de aerovías sí se incluyó como exclusión, la dimensión fue la dada por la línea proyectada en terreno es gráfico, pero no tiene una envergadura definida. Recomendaciones IAEA.	Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile (DGAC)
Aeropuertos: Red primaria y Red Secundaria (Aeródromos)	Distancia desde Aeródromos correspondientes a la Red Primaria de Aeropuertos 16 km. Desde aeródromos 8 km	United States Nuclear Regulatory Commission (NRC), 2014. Regulatory Guide 4.7.	Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile (DGAC)
Límites	Los valores utilizados :	Electric Power Research Institute (EPRI, 2002). Se realiza una	Instituto Nacional de

Urbanos. Áreas de exclusión de acuerdo al tamaño de la población.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño de la Población</th> <th>Distancia de Exclusión (Kms. aproximados)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25.000</td> <td>6.5</td> </tr> <tr> <td>100.000</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>500.000</td> <td>32.2</td> </tr> <tr> <td>1.000.000</td> <td>48.3</td> </tr> </tbody> </table>	Tamaño de la Población	Distancia de Exclusión (Kms. aproximados)	25.000	6.5	100.000	16	500.000	32.2	1.000.000	48.3	<p>interpolación de los valores de acuerdo al tamaño en población de los centros urbanos, considerando los límites urbanos delimitados por los Planes Reguladores de cada comuna y el tamaño de la población.</p> <p>Valores Originales:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño del centro de población</th> <th>Distancia de Exclusión (Millas)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25.000</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>100.000</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>500.000</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>1.000.000</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	Tamaño del centro de población	Distancia de Exclusión (Millas)	25.000	4	100.000	10	500.000	20	1.000.000	30	<p>Estadísticas (INE). Censo 2017.</p> <p>Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Geoportal MINVU)</p>
	Tamaño de la Población	Distancia de Exclusión (Kms. aproximados)																					
	25.000	6.5																					
	100.000	16																					
	500.000	32.2																					
1.000.000	48.3																						
Tamaño del centro de población	Distancia de Exclusión (Millas)																						
25.000	4																						
100.000	10																						
500.000	20																						
1.000.000	30																						
Acuíferos Protegidos (Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta)	<p>Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del acuífero.</p>	<p>Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)</p>	<p>Dirección General de Aguas (Mapas DGA)</p>																				
Área Marina Protegida	<p>Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del AMP.</p>	<p>Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)</p>	<p>Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Visualizador de Mapas SUBPESCA)</p>																				
Áreas de	<p>Área de influencia de 1.000 metros</p>	<p>Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y</p>	<p>Corporación Nacional</p>																				

Desarrollo Indígena (ADI)	proyectados en el plano desde los límites del ADI.	Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	de Desarrollo Indígena (CONADI)
Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB)	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites del AMERB.	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca).
Atractivos Turísticos (AT)	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites del AT.	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Servicio Nacional de Turismo (IDE SERNATUR)
Ayllus	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites del Ayllu.	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	SINIA Ministerio del Medio Ambiente
Bien Nacional Protegido Natural (BNP)	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del BNP.	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Ministerio de Bienes Nacionales
Caletas Pesqueras	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites de las Caletas Pesqueras	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca)
Circuitos Turísticos	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites de los Circuitos Turísticos	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Servicio Nacional de Turismo (IDE SERNATUR)
Cuerpos de	Área de influencia de 1.000 metros	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y	Dirección General de

agua	proyectados en el plano desde los límites del Cuerpo de Agua	Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Aguas (Mapas DGA)
Destinos Turísticos	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites del Destino Turístico	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Servicio Nacional de Turismo (IDE SERNATUR)
Espacios Costeros Marinos Pueblos Originarios (ECMPO)	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del ECMPO	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Visualizador de Mapas SUBPESCA)
Inventario de Humedales	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites del Humedal	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Dirección General de Aguas (Mapas DGA)
Monumento Natural	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del Monumento Natural	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	SINIA Ministerio del Medio Ambiente
Monumentos Históricos	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del Monumento Histórico	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Ministerio de Bienes Nacionales (IDE)
Parque Nacional	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del Parque Nacional	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	SINIA Ministerio del Medio Ambiente
Qhapaq Ñam	Área de influencia de 500 metros	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y	Ministerio de Bienes

(Camino del Inca)	proyectadas en el plano desde los límites del Qhapaq Ñam	Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Nacionales (IDE)
Reserva de la Biósfera	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites de la Reserva de la Biósfera	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	SINIA Ministerio del Medio Ambiente
Reserva Nacional	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites de la Reserva Nacional	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Corporación Nacional Forestal (Sistema de Información territorial Conaf)
Salar	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites del Salar	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Dirección General de Aguas (Mapas DGA)
Santuario de la Naturaleza	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites Del Santuario de la Naturaleza	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Ministerio de Bienes Nacionales (IDE)
Sitios Estrategias Regionales	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites de los Sitios de Estrategias Regionales	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Geoportal MINVU)
Sitios Prioritarios de Conservación de Biodiversidad	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites de los Sitios Prioritarios de Conservación de Biodiversidad	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	SINIA Ministerio del Medio Ambiente

Sitios Ramsar	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites de los Sitios RAMSAR	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	SINIA Ministerio del Medio Ambiente
Títulos de Merced Indígenas	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites de los Títulos de Merced	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI)
Vegas y Humedales Protegidos	Área de influencia de 1.000 metros proyectados en el plano desde los límites de las Vegas y Humedales	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío) Utilizados : Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta	Dirección General de Aguas (Mapas DGA)
Zona típica o Pintoresca	Área de influencia de 1000 metros proyectados en el plano desde los límites de las Zonas Típicas o Pintorescas	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Ministerio de Bienes Nacionales (IDE)
Zonas de Interés Turístico	Área de influencia de 500 metros proyectados en el plano desde los límites del ZOIT	Ministerio de Energía : Buffer de acuerdo a PER (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Biobío)	Ministerio de Bienes Nacionales (IDE)

Las componentes espaciales consideradas en este estudio y sus áreas de influencia fueron superpuestas en un Sistema de Información Geográfico, cuya metodología se visualiza a continuación en la Figura 2.

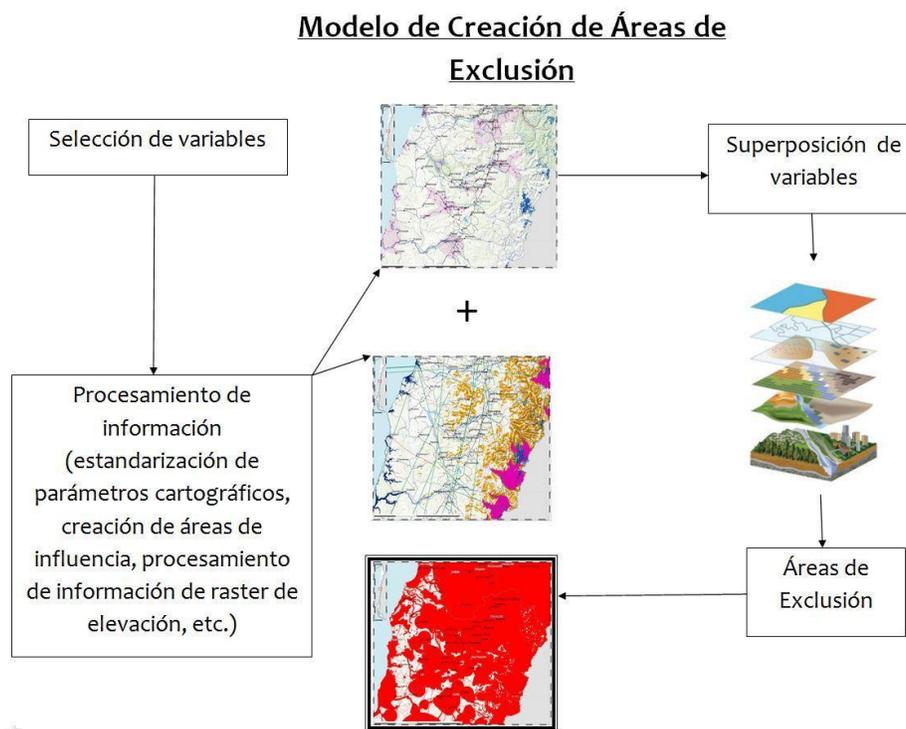


Figura 2. Metodología para componentes espaciales. (Elaboración Propia)

Agrupación de criterios

Las variables consideradas se agruparon en tres tipos de cartas temáticas: Áreas Naturales Protegidas, Áreas de Interés Cultural y Zonas de Peligro. A partir de la información representada en cada una de ellas y considerando las áreas de influencia de las distintas variables, se construyó el mapa que grafica las zonas que deberían ser excluidas para el emplazamiento de Centrales Nucleares de Potencia (Anexos).

Áreas Naturales Protegidas:

Las áreas representadas se refieren a aquellos espacios que por su condición natural asignan al territorio una característica relevante que es necesario considerar. Para este análisis se han

considerado las siguientes variables naturales presentes algunas a nivel regional y algunas a nivel local:

- Vegas y Humedales Protegidos (Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta)
- Santuario de la Naturaleza
- Área Marina Protegida
- Acuíferos Protegidos (Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta)
- Inventario de Humedales
- Sitios Prioritarios de Conservación de Biodiversidad
- Sitios Ramsar
- Reserva de la Biósfera
- Bien Nacional Protegido Natural
- Monumento Natural
- Parque Nacional
- Reserva Nacional
- Sitios Estrategias Regionales

Área de Interés Cultural:

Para este análisis se han considerado las siguientes variables culturales con presencia regional o local, que corresponden a aquellos elementos de expresión, uso y gestión culturales que le asignan al territorio una característica particular con un criterio espacial. Las coberturas consideradas fueron las siguientes:

- Monumentos Históricos
- Zona típica o Pintoresca
- Caletas Pesqueras
- Espacios Costeros Marinos Pueblos Originarios (ECMPO)
- Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB)
- Atractivos Turísticos
- Circuitos Turísticos
- Destinos Turísticos
- Zonas de Interés Turístico
- Qhapaq Ñam
- Ayllus
- Títulos de Merced Indígenas
- Áreas de Desarrollo Indígena
- Límites Urbanos Plan Regulador

Para el área de influencia de centros poblados se consideró el límite urbano establecido en los Planes Reguladores Comunales disponibles en la IDE del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. La National Regulatory Commission (NRC, 2014) de Estados Unidos y el IAEA (2012) coinciden que la instalación de una planta nuclear debe estar en áreas con baja densidad de población. Las áreas de influencia se calcularon de acuerdo a lo recomendado por Electric Power Research Institute

(EPRI, 2002), National Regulatory Commission (NRC, 2011) e IAEA (2012). De acuerdo a lo establecido se extrapolaron los valores a los representativos de las diferentes áreas urbanas de Chile. Los valores referenciales fueron los expuestos en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores referenciales de área de influencia

Tamaño de la Población	Distancia de Exclusión (Millas)	Distancia de Exclusión (Kms. aproximados)
25.000	4	6,5
100.000	10	16,0
500.000	20	32,2
1.000.000	30	48,3

Fuente: EPRI (2002)

Zonas de Peligro:

Corresponden a aquellos elementos del territorio que se constituyen como una amenaza o riesgo para el desarrollo de algún proyecto energético de este tipo. En este caso se consideran riesgos naturales y antrópicos.

Peligros por Remoción en Masa

Los rangos de pendiente, según el umbral geomorfológico, que elevan el potencial de desencadenar efectos de remoción en masa utilizada para determinar los niveles de riesgo medio y alto, fueron los recomendados por diversos autores (Universidad de Chile, 2009). Del mismo modo, se incorporaron las recomendaciones de organismos internacionales (EPRI 2002, Gosatomnadzor of Russia 2004) y nacionales (Planes Energéticos Regionales, Ministerio de Energía).

En el análisis final del emplazamiento, dadas las características de nuestro territorio y los eventos históricos de remoción en masa (Universidad de Chile, 2009), se consideraron las áreas del territorio donde la pendiente excede los 15°. Los rangos considerados fueron los siguientes:

Tabla 5. Rangos de pendiente

Grados de Pendiente	Peligro por Remoción en Masa
Hasta 15°	Bajo
15° - 25°	Medio
25° y más	Alto

Fuente: Universidad de Chile. Departamento de Geología (2009)

Fallas Potencialmente Activas:

En este estudio se representa su ubicación conocida o inferida por distintos estudios y organismos que ONEMI ha compilado para su objetivo de planificación en caso de eventos naturales. Dada la escala de este estudio es inconducente hacer una descripción detallada de los factores que condicionan el riesgo potencial de las fallas, ya que estos son inherentes a condiciones locales y varían, por lo tanto, de un de un sitio a otro y deben ser estudiados una vez que se elijan sitios potenciales para el emplazamiento de una CNP.

Zona de Peligro de Inundación por Tsunami:

Se fusionó la información provista por las Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU) del SHOA que han sido efectuadas para 52 localidades y la línea de seguridad propuesta por ONEMI en sus planes de evacuación. La modelación de tsunamis ha sido utilizada para discriminar entre diferentes escenarios posibles (i.e. localización de la fuente y mecanismos de ruptura) que puedan afectar a una región en particular, elaborando una Carta de Inundación para el evento sísmico más extremo, ya sea conocido o probable (SHOA). Línea de Seguridad fue modificada por ONEMI, a sugerencia de la Armada de Chile, luego del terremoto de 2010, desde 20 m.s.n.m. a 30 m.s.n.m

Peligros Volcánicos:

Estos fueron agrupados en dos grupos diferentes:

- Peligros volcánicos: Considera lavas, lahares, flujos piroclásticos y avalanchas volcánicas (LLPF). Se utilizaron los datos levantados por SERNAGEOMIN para 43 volcanes específicos. Para clasificar las áreas expuestas a altos y bajos peligros por LLPF se tomaron en cuenta las características territoriales locales. Para el resto de los volcanes se consideró el área que SERNAGEOMIN determina que está expuesta a altos y bajos peligros de forma general, en un estudio hecho a escala pequeña (1:2.000.000) para todo el territorio general.
- Peligro por caída de Piroclastos: En este caso SERNAGEOMIN establece los rangos de peligros de acuerdo a pesos que los determinan, según el siguiente cuadro:

Tabla 6. Rangos de peligros por Piroclastos de acuerdo a pesos

Peso
2,00 - 43, 213156
43,213157 - 98,052541
98,052542 - 383,00

Fuente: SERNAGEOMIN (2011)

Aeropuertos:

El área de exclusión se estableció según lo recomendado por EPRI (2002) y NRC (2014) la cual es de 16 km para la Red Primaria y 8 km para la Red Secundaria y Red de Pequeños Aeródromos. La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) establece cuales son los aeropuertos/aeródromos que pertenecen a cada categoría (DGAC, 2016).

Se proyectó en superficie las líneas de las aerovías de las aeronaves mayores, tomando en consideración las recomendaciones de la International Atomic Energy Agency (2012).

En la cartografía se incluyeron todas las variables con sus respectivas áreas de influencia, recomendadas o mandatadas por distintos organismos o cuerpos legales. Las áreas de influencia consideradas para cada variable y su fuente, están disponibles en la Tabla 3 anteriormente presentada.

6. Otras Consideraciones

6.1 De la Estimación del Peligro Sísmico en Chile

A continuación se presenta una sección elaborada para este estudio por los Autores: Felipe Leyton (Jefe Innovación y Transferencia Tecnológica, Centro Sismológico Nacional) y Sergio Ruiz (Profesor Asociado, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile):

Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, presentando una alta tasa de sismicidad anual y siendo escenario de megaterremotos. Es por ello, que la adecuada estimación del peligro sísmico se hace relevante para el diseño de grandes obras de infraestructura. En la presente nota, Felipe Leyton, Sergio Ruiz & Colaboradores discuten algunos aspectos relevantes a considerar al momento de estimar el peligro sísmico en el país.

Metodología Probabilística

En Chile se han desarrollado una serie de estudios de peligro sísmico usando la metodología probabilística, de ellos se destacan los de Algermissen et al. (1992) y Leyton (2012), mostrados en

la Figura 3; ambos realizados para un periodo de retorno de 475 años. De ellos, se observa que las mayores sollicitaciones se presentan en la costa, decayendo hacia el interior del continente, directo reflejo de la influencia de la fuente interplaca tipo thrust (Leyton et al., 2009; 2010). Cabe resaltar que ambos estudios se realizaron considerando condiciones de suelo duro. De estas figuras es posible ver que las sollicitaciones sísmicas son muy elevadas para todo el territorio continental Chileno, variando entre 20% a sobre 50% de la aceleración de gravedad.

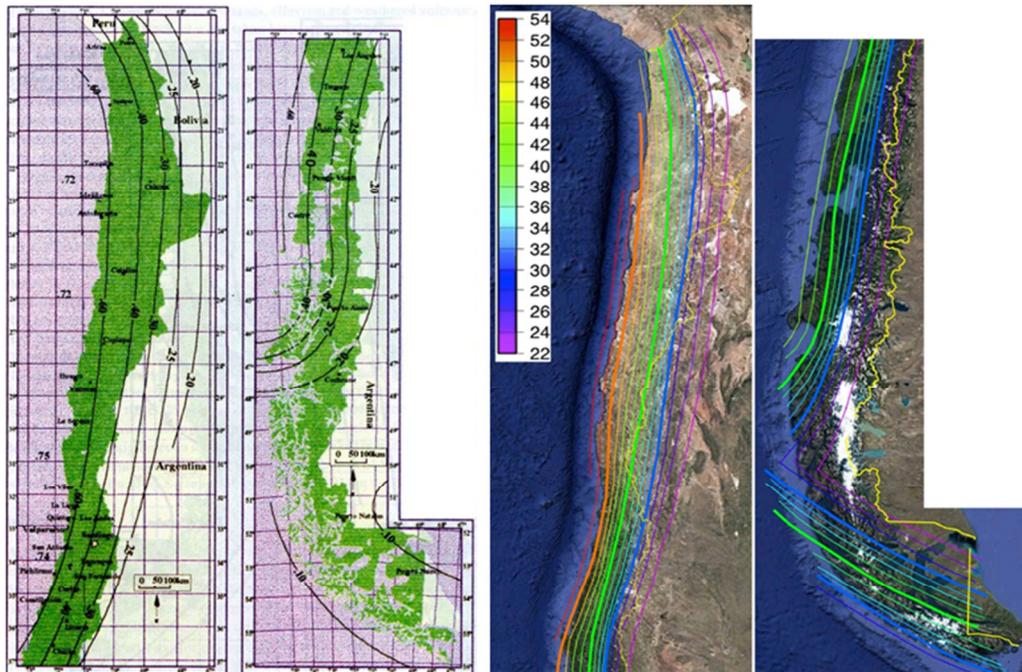


Figura 3. Resultados de 2 estudios de peligro sísmico probabilístico

En la Figura 3 Se presentan los estudios de peligro sísmico desde el punto de vista probabilístico-Algermissen et al. (1992) y Leyton (2012), izquierda y derecha, respectivamente. Ellos consideran un periodo de retorno de 475 años y condiciones de suelo duro.

Escenarios

Una herramienta esencial para estimar el peligro sísmico en un área consiste en el uso de escenarios. Esta herramienta puede ser considerada dentro de la metodología determinística para la estimación del peligro sísmico, y consiste en definir un caso particular de evento sísmico y proyectar el movimiento del suelo en dicho caso particular. A continuación se presenta una serie de escenarios para la zona norte del país, comprendiendo casi toda la región de Antofagasta. Nótese que el color es proporcional al movimiento máximo del suelo generado por el sismo, siguiendo la escala del borde inferior; esta misma escala presenta una estimación del daño potencial que dicho movimiento puede producir.

En la Figura 4 se presentan sismos de magnitud 8.0 y 8.5, en izquierda y derecha, respectivamente. En ambos casos, el color es proporcional a la intensidad del movimiento del suelo, siguiendo la escala del borde inferior.

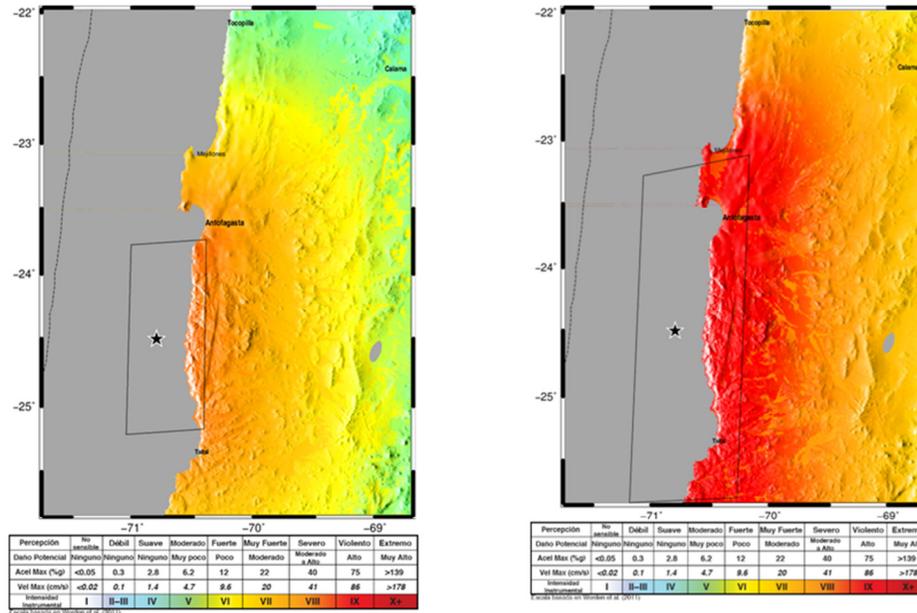


Figura 4. Escenarios de fuente interplaca tipo thrust para la zona norte del país

La Figura 5 presenta 2 escenarios para la fuente interplaca tipo thrust (sismos costeros) de terremotos de magnitud 8.0 y 8.5, en izquierda y derecha, respectivamente. Dicha figura presenta dos aspectos interesantes: con el aumento de la magnitud se observa no sólo un aumento en el movimiento cercano, sino que el área afecta por el sismo aumenta considerablemente. Este fenómeno es típico de los megaterremotos de subducción. En la Figura 5 el color es proporcional a la intensidad del movimiento del suelo, siguiendo la escala del borde inferior.

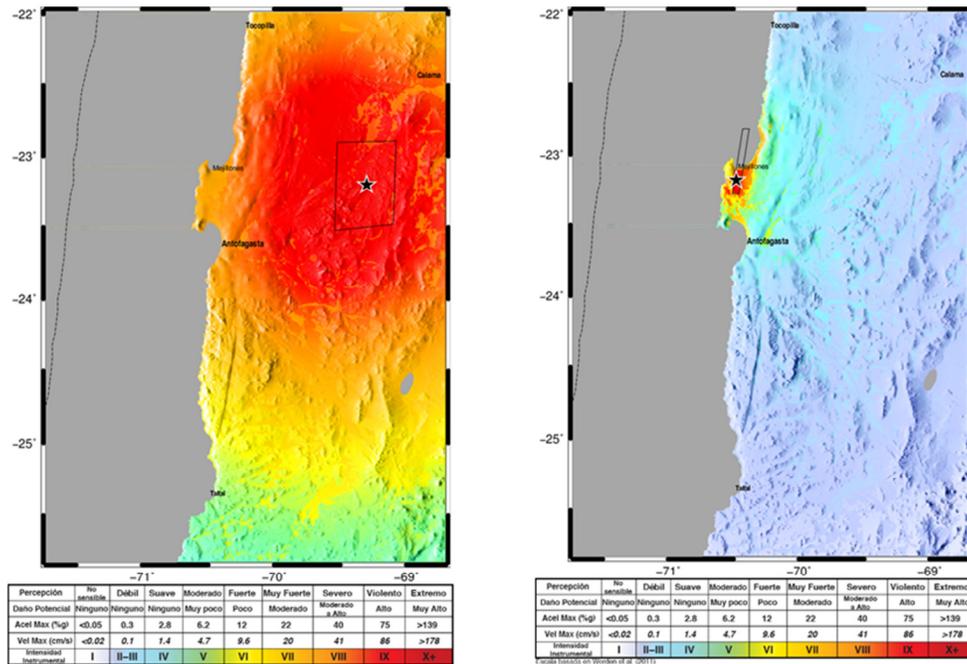


Figura 5. Escenarios de fuente intraplaca de profundidad intermedia (Mw 7.5) y cortical (Mw 7.0) para la región de Antofagasta

Amplificaciones por efecto de sitio

Diversos estudios han demostrado que las **condiciones locales del sitio modifican fuertemente la respuesta frente a las ondas sísmicas** (Borcherdt, 1970; Leyton et al., 2011; 2012; Rauld et al., 2015). El impacto de estas modificaciones se ejemplifican en la Figura 6 donde se comparan los resultados un escenario para un sismo interplaca tipo thrust de magnitud Mw 8.0 afectando Chile Central: en el panel de la izquierda se presentan los resultados considerando condiciones de roca dura, mientras que en la derecha se muestra considerando las condiciones del sitio, siguiendo el trabajo de Rauld et al. (2015); la escala del borde inferior es proporcional a la aceleración horizontal máxima, en términos de la aceleración de gravedad (g). Para apreciar de mejor forma el impacto del suelo se ha hecho un acercamiento a la zona de Santiago, cambiando la escala considerada, ver Figura 7. De ambas Figuras se aprecia el **importante impacto que ejerce las condiciones del sitio** en el cual es evaluado el peligro.

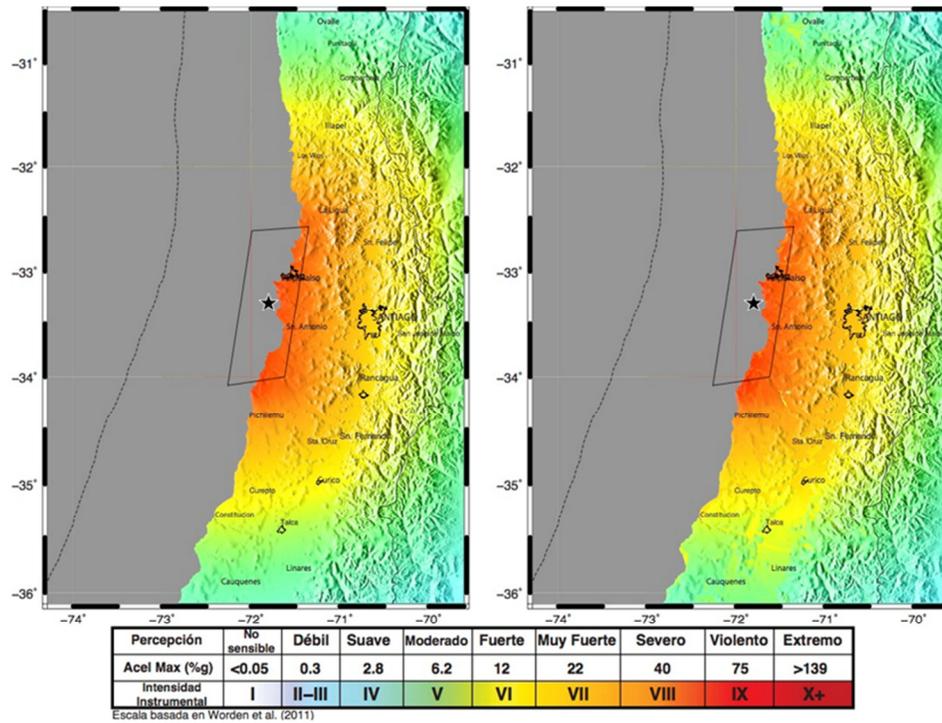


Figura 6. Escenarios de terremoto interplaca tipo thrust (Mw 8.0) en Chile Central

Considerando condiciones de roca dura (izquierda) y una estimación de efecto de sitio, según Rauld et al. (2015) (Figura 6 derecha). Los colores son proporcionales a la aceleración horizontal máxima, según la escala de colores del borde inferior, en término de la aceleración de gravedad.

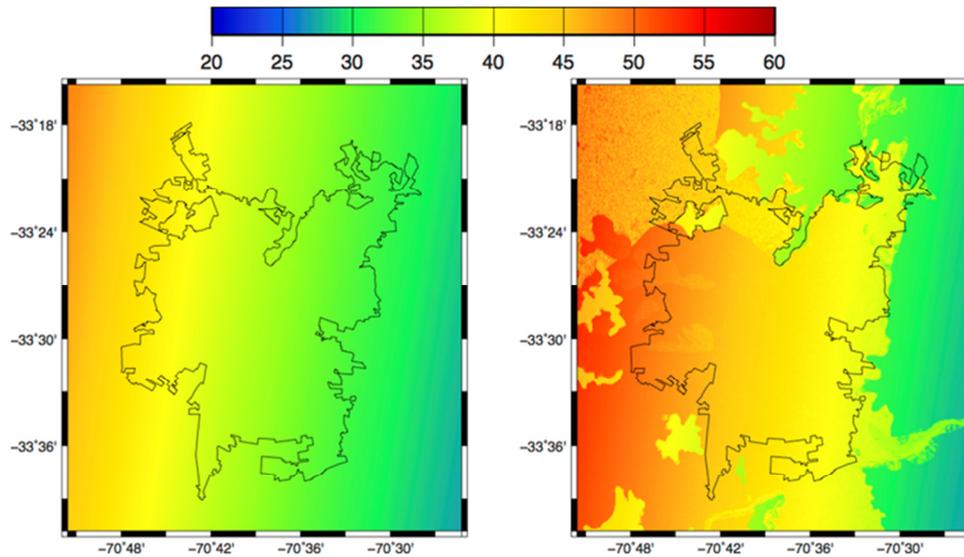


Figura 7. Acercamiento de la Figura 6 en torno a Santiago

El color nuevamente es proporcional a la aceleración horizontal, siguiendo la escala mostrada en el borde superior de la Figura 7, en términos del porcentaje de g.

Fallas corticales y estimaciones probabilísticas

Las fallas corticales son expresiones geológicas de las tensiones que se observan en el continente, en el caso que se está analizando, la placa Sudamericana. Es así como en la Figura 8 se muestra un ejemplo de 2 fallas corticales ubicadas en la región de Antofagasta: Falla Mejillones y Salar del Carmen, tomadas de Cortés et al. (2012). En este estudio, los autores realizaron un completa caracterización de dichos objetos, logrando estimar la existencia de 2 grandes terremotos ($M_w \sim 7.0$), en los últimos 5.000 años. Teniendo en cuenta estos antecedentes, es posible generar el escenario de ruptura de ambas fallas, tal como se presenta en la Figura 9.

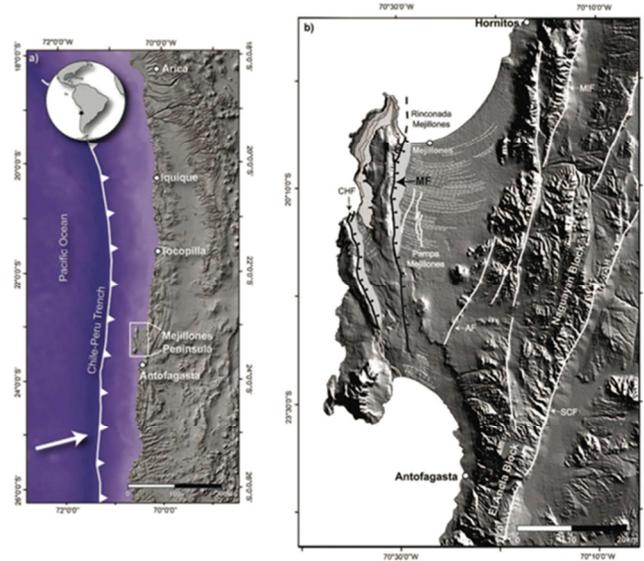


Figura 8. Mapa general (derecha) y acercamiento (izquierda). Mostrando la ubicación de las fallas de Mejillones y Salar del Carmen.

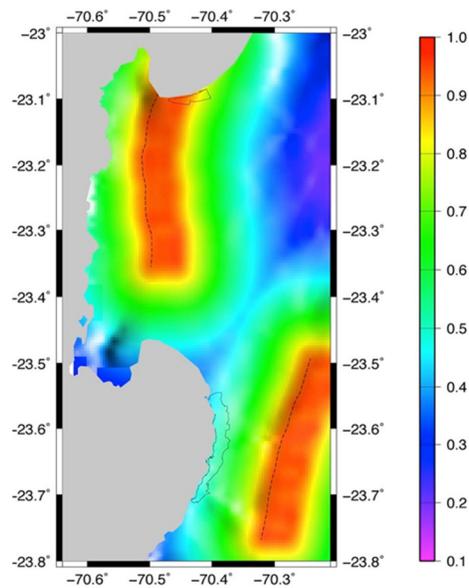


Figura 9. Escenario de un terremoto magnitud Mw 7.0 en las fallas de Mejillones (al Norte) y Salar del Carmen (al Sur).

El color en la Figura 9 es proporcional a la aceleración horizontal máxima, siguiendo la escala del borde derecho. Se ha agregado la posición de las ciudades de Mejillones y Antofagasta.

Dado los antecedentes conocidos de ambas fallas, es posible modelar el impacto que ellas producen, incluyéndolas en las estimaciones probabilísticas. Ello es presentado en las Figuras 10 y 11, para periodos de retorno de 475 y 2000 años, respectivamente. En ambos casos, el color es proporcional a la escala de colores presentada en el medio, descrita en términos de la aceleración de gravedad. En ambos casos se ha evaluado el peligro probabilístico incluyendo las fuentes de subducción (eventos interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia o sin ellas, en izquierda y derecha, respectivamente). De ambas Figuras es posible ver que, para un periodo de retorno corto (475 años), el aporte de las fallas corticales al resultado final es casi imperceptible. En cambio, para periodos de retorno largos (2000 años), el aporte de las fallas corticales excede el generado por las fuentes de subducción, tal como lo muestra la Figura 11.

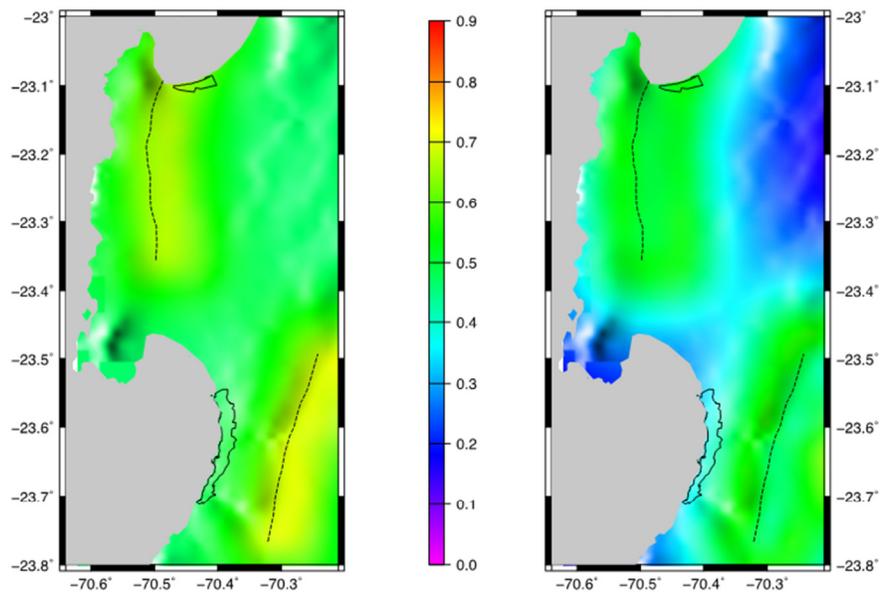


Figura 10 Mapas de peligro probabilístico para un periodo de retorno de 475 años

El color en la Figura 11 es proporcional a la aceleración horizontal máxima, según la escala del medio. Se presentan los casos de las fallas corticales junto a las fuentes de subducción (interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia) y sólo las fallas corticales, en izquierda y derecha, respectivamente.

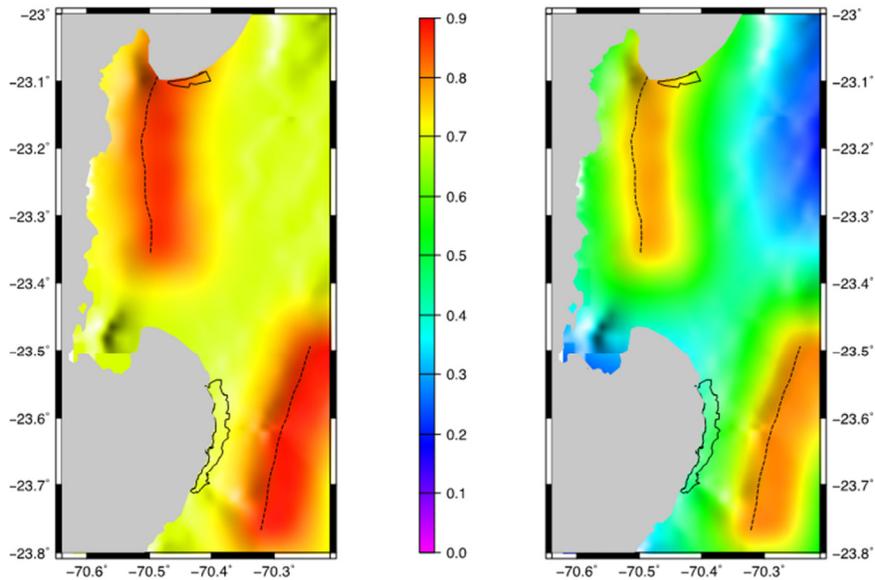


Figura 11. Mapas de peligro iguales a los presentados en la Figura 10 (pero para un periodo de retorno de 2000 años)

En la nota anterior, Felipe Leyton, Sergio Ruiz & Colaboradores proporcionan una breve descripción de la metodología probabilística, el uso de escenarios, la importancia del efecto de sitio y ejemplo de consideración de fallas corticales. De ella se desprende que el peligro sísmico asociado a un proyecto estará determinado principalmente por los sismos que ocurren en la costa, y para el diseño sísmico de las estructuras de los diversos proyectos se requiere determinar requisitos específicos de acuerdo a la naturaleza de cada uno y de cada sitio en particular.

Con respecto a las estructuras requeridas para una central nuclear de potencia, estas tienen una vida útil más larga que la proyectada para los edificios convencionales, y deben permanecer funcionales después de los sismos más grandes que la puedan afectar. Para determinar los criterios específicos a aplicar en instalaciones nucleares se requerirá la realización de estudios técnicos específicos, primero, a una escala piloto para definir y validar los criterios, y luego la aplicación a nivel nacional. Estos estudios deben analizar el peligro sísmico para períodos de retorno más largos, el efecto de los sismos intraplaca de profundidad intermedia y sismos corticales, y considerar el potencial de ruptura en superficie de fallas potencialmente sismogénicas, entre otros. Por ello, con la información disponible, no es posible definir un criterio para ser utilizado y representado en una capa información geográfica.

En todo caso es importante tener presente que si bien Chile presenta un alto riesgo sísmico en todos su territorio, las obras de ingeniería en Chile han demostrado un buen desempeño en los grandes sismos ocurridos a partir de mediados del siglo XX, contando por ello con una vulnerabilidad de sus edificaciones mucho más baja que otros países debido a sus estrictos códigos de construcción antisísmica (USGS, 2018).

En particular, y en materia de normalización, en los últimos cinco años se ha desarrollado una extensa normativa para el diseño sísmico de infraestructura con aislación sísmica y disipación de energía, construcción de estructuras en zonas susceptibles de inundación por tsunamis o seiches, y diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales. Por ellos, finalmente una instalación de tipo nuclear ubicada en una zona de alta actividad sísmica será igualmente segura que una ubicada en una zona menos sísmica, siempre y cuando ambas sean diseñadas de acuerdo al nivel de riesgo requerido. La diferencia se reflejará en los costos de diseño y construcción de la planta (Coman, 2018).

6.2 Consideraciones Territoriales

Dentro del análisis de emplazamiento de cualquier proyecto energético se recomienda considerar los lineamientos establecidos en las políticas nacionales, instrumentos de ordenamiento territorial (IOT) y la planificación de desarrollo regional vigente en materia energética. Si bien el marco general de ordenamiento territorial presenta deficiencias (existen instrumentos no vinculantes) se espera que un potencial proyecto energético siga la línea general de desarrollo regional establecida para cada zona en particular. Para el desarrollo de este estudio se realizó una revisión de los siguientes instrumentos de planificación.

a) Instrumentos de Ordenamiento Territorial

Política Nacional de Borde Costero (1994) - Ministerio de Defensa

Es un instrumento de planificación territorial aplicable al borde costero del litoral cuyo objetivo es lograr el cuidado y mejor uso de los recursos marítimos. En la Política se establecen usos preferentes específicos para el borde costero y se define una “Zonificación Preliminar de Borde Costero (ZBC)” donde se identifican estos usos por región.

Una de las variables más relevantes en la operación de un reactor es la disponibilidad de un suministro de agua para refrigeración. De acuerdo a IAEA (2012) una planta de 1000 MW puede llegar a consumir al menos 50 m³/s lo cual depende del tipo de refrigeración adoptada. La cercanía y disponibilidad de agua es un requisito excluyente para definir un sitio de emplazamiento. Sin embargo este criterio debe ser considerado a nivel sitio (cuando ya se ha definido una zona idónea) tras un correspondiente estudio de disponibilidad de agua. Por lo cual este instrumento debe ser considerado en caso de que el proyecto contemple un emplazamiento cercano a zonas costeras.

Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) (2011) - Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)

Está concebido como un “método que posibilita la espacialización” de los objetivos contenidos en las Estrategias de Desarrollo Regional (ERD) y se encuentra alineado con las políticas públicas nacionales como regionales. Este instrumento de planificación busca velar por el desarrollo

sustentable considerando las particularidades de cada región. Así como las ERD, los PROT no son de carácter prohibitivo sino que promueven actividades en la región.

b) Otros instrumentos que orientan el uso del territorio

Planes Energéticos Regionales (PERs) - Ministerio de Energía

Los PER son instrumentos de planificación territorial con un enfoque energético. El objetivo de los PER es identificar “Zonas de Interés Energético” donde se promueven sitios con potencialidad para el desarrollo de proyectos de energías renovables. Específicamente en los PER desarrollados se identifican zonas que tienen potencial solar y eólico, lo cual no representa impedimentos para desarrollar proyectos complementarios de una potencial CNP. Hasta el momento se encuentran disponibles para 6 regiones del norte de Chile (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Bío Bío) (Ministerio de Energía, 2018). En concordancia con la Política Energética 2050 para el año 2035 todas las regiones deben contar con planificación energética en concordancia con sus Planes Regionales de Ordenamiento Territorial.

Estrategias Regionales de Desarrollo (ERD) - Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)

Las ERD regionales son el principal instrumento a través de los cuales la región establece sus lineamientos de desarrollo en diversas materias. La mayoría de las regiones incluyen líneas de acción en materia energética dentro de las cuales se incluyen promover el desarrollo de energías renovables no convencionales (ERNC), uso de energías “limpias”, diversificación de la matriz energética, promoción de la eficiencia energética, fomento de proyectos Investigación y Desarrollo entre otros.

Las estrategias regionales no tienen un carácter restrictivo sino más bien de orientación. Por lo tanto si bien un proyecto CNP representa una fuente energética menos favorecida que las ERNC, no se observan restricciones para su desarrollo y no se contraponen a la línea de acción regional.

c) Instrumentos de Planificación Territorial IPT (Nivel Urbano)

De acuerdo al Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2018) los Instrumentos de Planificación Territorial IPT que deben ser considerados a un nivel de “sitio” son los siguientes:

- Plan Regional de Desarrollo Urbano (PRDU)
- Planes Reguladores Intercomunales (PRI)
- Planes Reguladores Comunes (PRC)
- Planes Seccionales (PS)
- Límite Urbano (LU)

Establecido el alcance regional de este estudio, estos instrumentos deben ser aplicados en etapas posteriores y más avanzadas de estudio, es decir, cuando existan sitios candidatos o idóneos.

A su vez los Instrumentos de Ordenamiento Territorial deben ser evaluados a través de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), la cual debe ser contenida en las herramientas de

ordenamiento territorial como un lineamiento base en el desarrollo de proyectos en las regiones de Chile. El principal enfoque de la EAE es considerar el desarrollo sustentable y objetivos ambientales en la elaboración de los instrumentos de ordenamiento (Fig. 12).

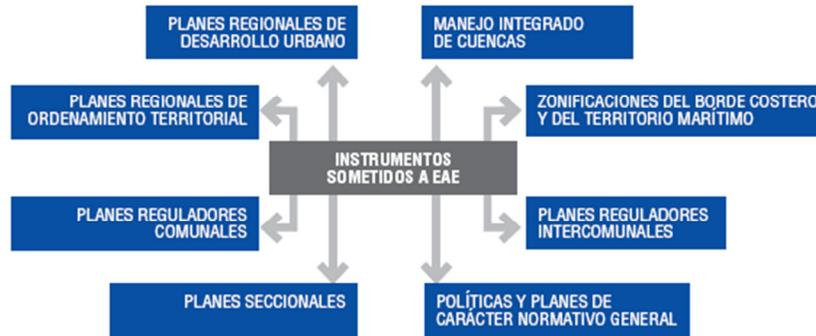


Figura 12. Instrumentos que deben desarrollar un proceso de EAE. (Ministerio De Medioambiente, 2015)

7. Resultados

Se presentan a continuación ejemplos (Fig.13, 14 y 15) de los mapas resultantes aplicando la metodología anteriormente descrita. Los detalles por región se encuentran en los anexos.

Mapas de Zonas de Interés Cultural

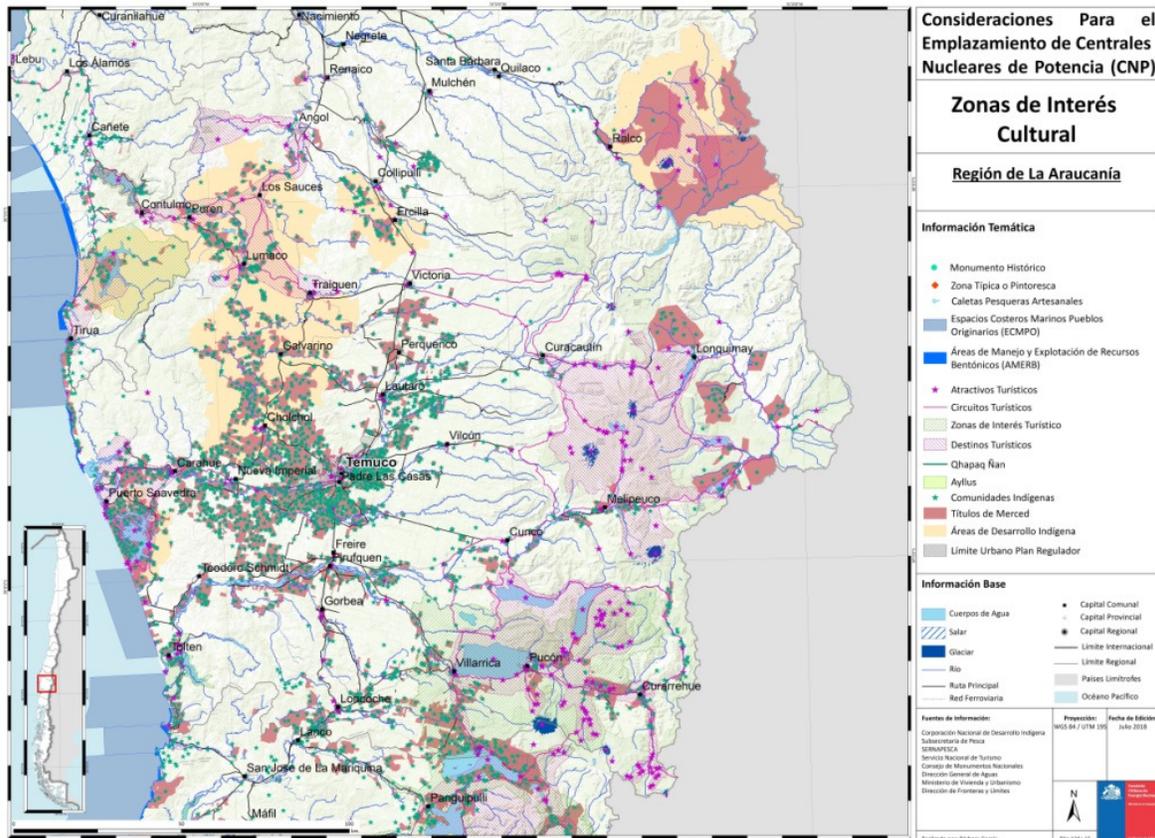


Figura 13. Ejemplo mapa de zonas de interés cultural Región de la Araucanía

Mapas de Áreas Naturales Protegidas

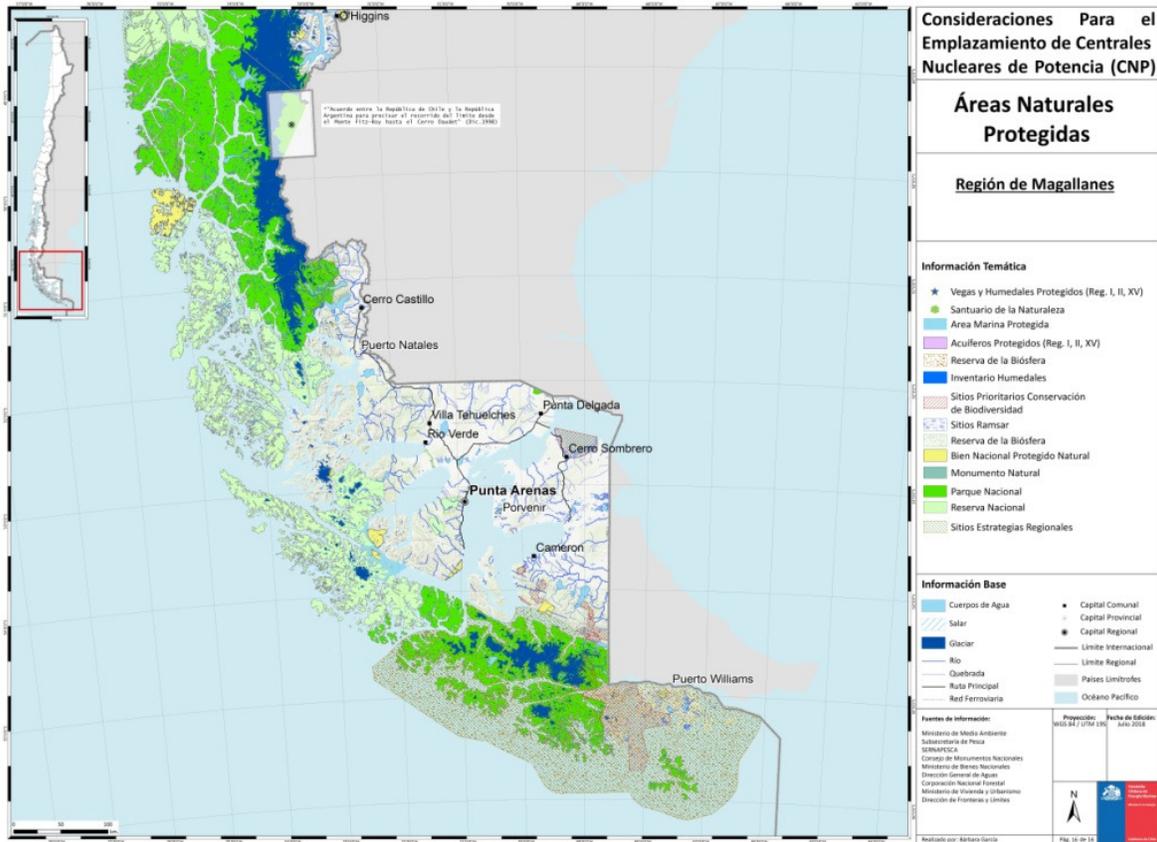


Figura 14. Ejemplo mapa de áreas naturales protegidas Región de Magallanes

Mapas de Zonas de Peligros

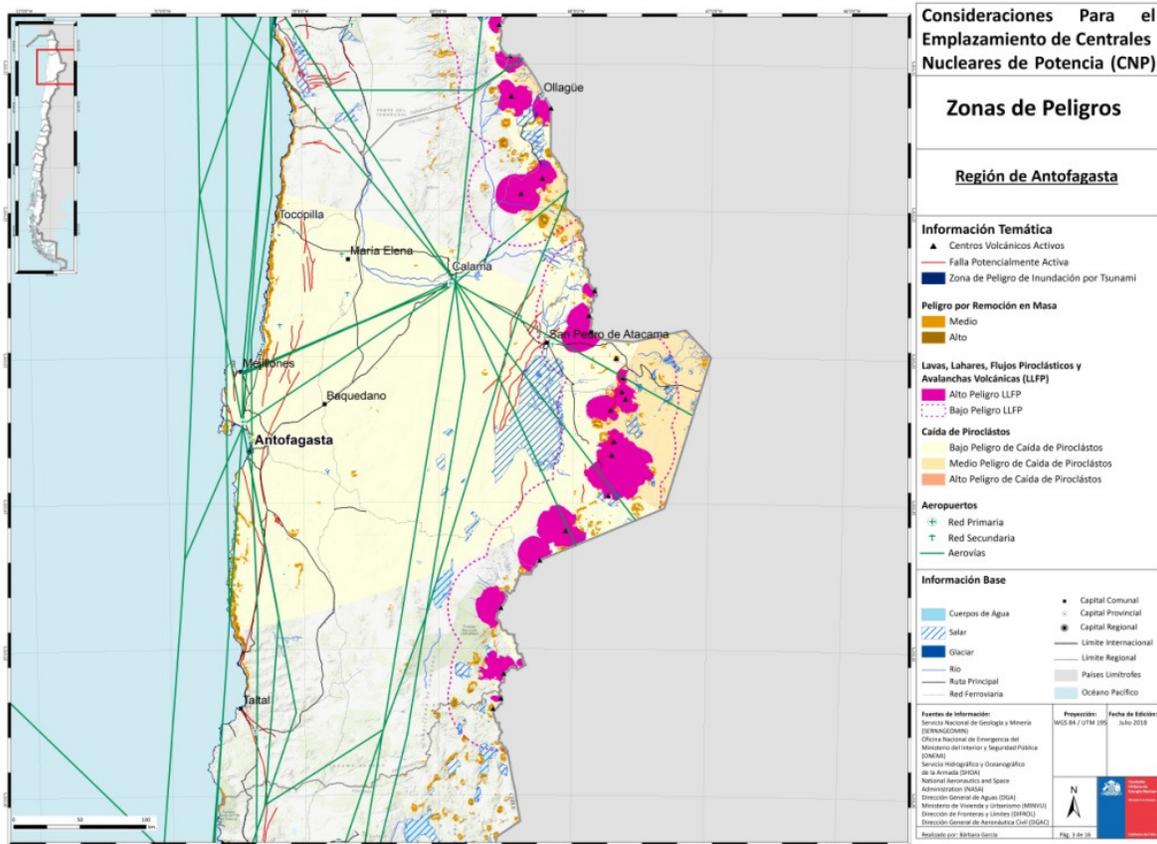


Figura 15. Ejemplo mapa de zonas de peligro Región de Antofagasta

Los mapas que sintetizan toda la información recopilada son presentados a nivel regional en los mapas de exclusión presentados como ejemplo en la Figura 16.

Mapas de Zonas de Exclusión por Región

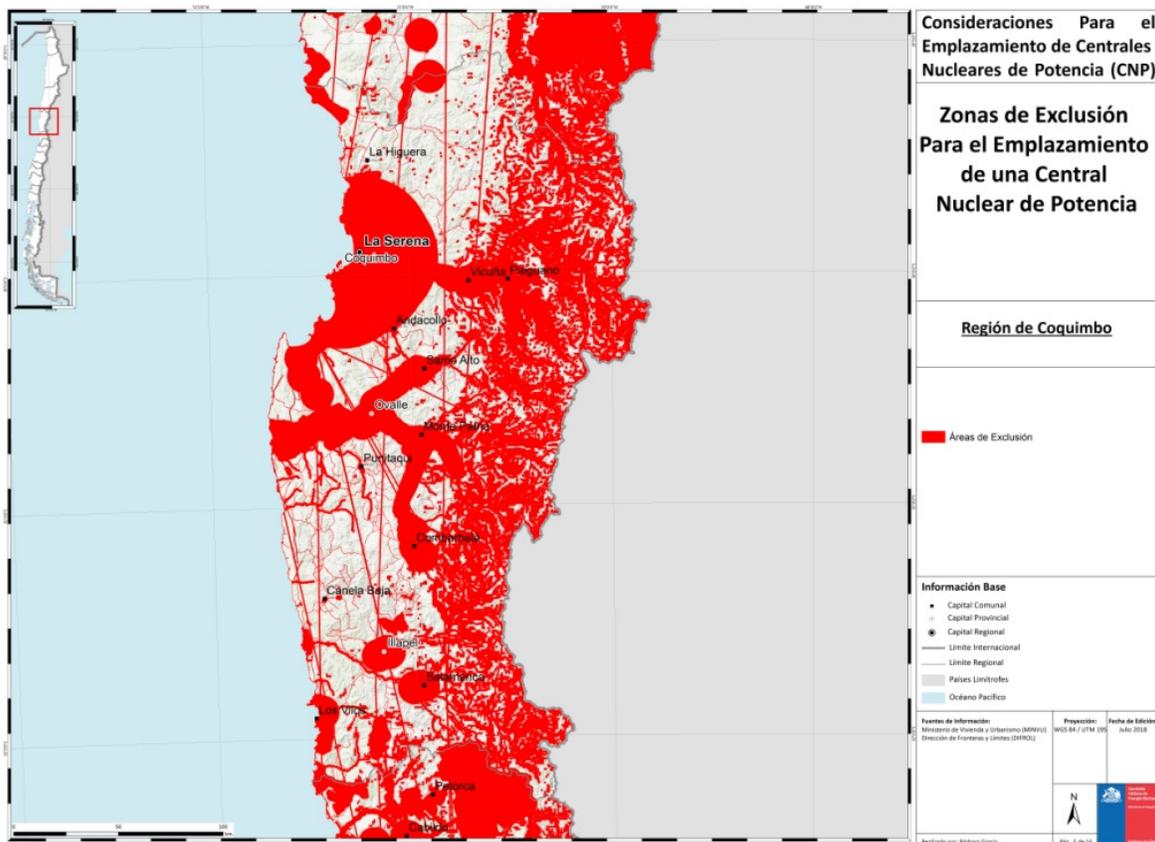


Figura 16. Ejemplo mapa de zonas de exclusión Región de Coquimbo

La Figura 17 presenta el resultado final una vez superpuestas y analizadas todas las capas de información. Como resultado, y de acuerdo a los datos analizados, se puede observar que las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo son las que presentan una mayor superficie disponible para los posteriores análisis de selección de sitios potenciales para el emplazamiento de una CNP. En esta situación también se encuentra la nueva región del Ñuble.

En el resto de las regiones, si bien en el análisis a pequeña escala (1:2.000.000) pareciera no presentar áreas disponibles para estudios posteriores, al visualizar la información a mayor escala (1:250.000 - 1:500.000), en los mapas detallados por región, se logran identificar zonas en las que es posible considerar proyectos de CNP (Anexo).

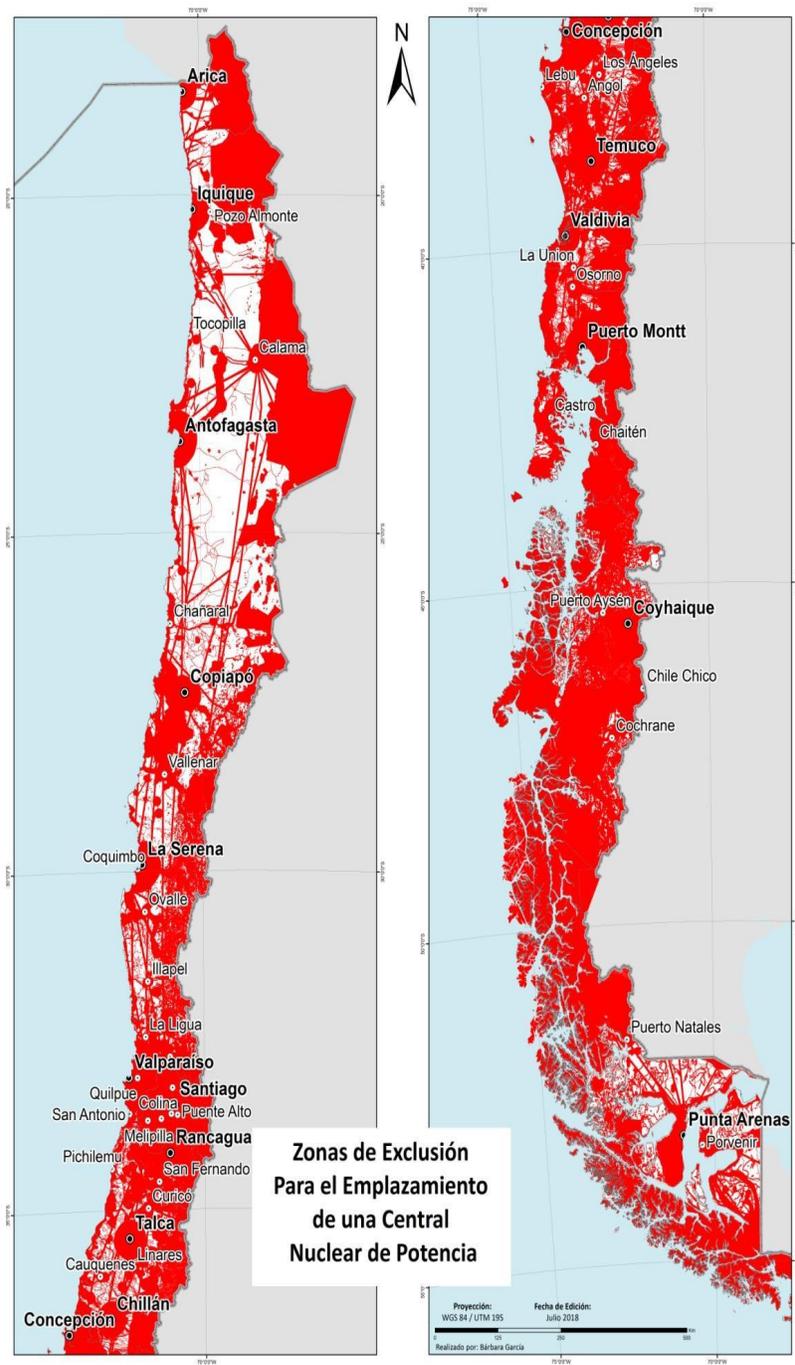


Figura 17. Mapa País con zonas de exclusión

8. Conclusiones y Recomendaciones

Para este primer proceso de exclusión fueron consideradas las áreas naturales protegidas, áreas de interés cultural y zonas de peligro, las cuales fueron representadas través de mapas regionales. Como resultado, se observa que la zona del norte del país cuenta con mayores áreas disponibles a considerar para un potencial proyecto de energía nuclear de potencia. Esto no descarta que se puedan realizar estudios futuros en otras zonas al sur del país donde existen áreas más acotadas pero disponibles.

De acuerdo a las consideraciones de Leyton, Ruiz y Colaboradores (2018) en materia sísmica, el análisis de esta variable debe realizarse a un nivel territorial de “sitio” ya que las condiciones locales del sitio modifican fuertemente la respuesta frente a las ondas sísmicas y el diseño y construcción de la planta influyen en la respuesta frente a actividad sísmica. Por ello, este aspecto debe ser evaluado e incluido en el diseño una vez que el sitio haya sido seleccionado.

Desde el punto de vista territorial, se puede concluir que el desarrollo de la energía nuclear en Chile no contravienen los planes y políticas nacionales ni regionales y resulta compatible con las directrices orientadoras de las regiones en materia energética. En la actualidad ninguna de ellas impediría el emplazamiento de una central nuclear en el país. En general, sin bien en todas las regiones el objetivo primordial es potenciar el desarrollo de energías renovables, también establecen la necesidad de “diversificar la matriz energética a través de fuentes estables, seguras y limpias”, lo que igualmente estaría en concordancia con las características de una central nuclear de potencia. Una vez que el sitio es seleccionado la planificación territorial toma más relevancia debido a la aplicación de zonificación de los planes reguladores comunales entre otros.

Con respecto a los instrumentos PER del Ministerio de Energía, estos consideran fuentes de energía renovables con el fin de establecer estrategias de planificación energética compatibles con los objetivos de planificación existentes para cada región del país. Si es necesario analizar la potencialidad de la energía nuclear a largo plazo, sería de gran utilidad incluir en los análisis de los PER a esta fuente energética en las regiones faltantes.

En materia de seguridad, y como se mencionó al inicio de este documento, para este análisis se consideraron las exigencias regulatorias vigentes para las centrales actuales convencionales y de gran tamaño. Por ello, algunas de estas restricciones pudiesen flexibilizarse con la introducción de nuevas tecnologías nucleares, modulares y de menor tamaño, con sistemas pasivos de seguridad, menores requerimientos de suelo y de zona de exclusión, entre otros.

En este estudio no se identifica un sitio idóneo ya que su selección dependerá de estudios mucho más específicos en zonas acotadas. Así mismo, el análisis debe ser complementado con una revisión de otros factores que podrían facilitar o dificultar el emplazamiento de centrales nucleares.

En el caso de requerirse avanzar en el proceso de selección de un emplazamiento, se deberán realizar estudios específicos en zonas acotadas, que incluirán diferentes disciplinas tales como

ingeniería civil, protección radiológica, impacto medioambiental local, mecánica de suelos, sismología, hidrología y meteorología entre otros.

9. Referencias

Algermissen, S. T., Kausel, E., Hanson, S., and Thenhaus, P. C.: Earthquake hazard in Chile, *Rev. Geofísica*, 37, 195–218, 1992.

Borcherdt, R.D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America* 60, 29–61.

Canadá Nuclear Association (CNA) (2015). Economic Benefits. Recuperado de <https://cna.ca/issues-policy/economics/economic-benefits/>

CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) (2018). SRTM 90m Digital Elevation Data. Recuperado de: <http://srtm.csi.cgiar.org/>

Coman O. (2018). Interregional Training Course on Licensing Process for Nuclear Power Plants: Site Survey and Site Selection. Senior Nuclear Safety Office, International Energy Agency (IEA). Moscú. Rusia.

Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI). (2018). Bienvenidos al Sistema Integrado de Información CONADI – SIIC. Recuperado de: <http://siic.conadi.cl/>

Corporación Nacional Forestal (CONAF). Sistema de Información Territorial Conaf. Recuperado de: <https://sit.conaf.cl/>

Cortés, A., González, L., Binnie, S. A., Robinson, R., Freeman, S. P. H. T., & Vargas, E. (2012). Paleoseismology of the Mejillones Fault, northern Chile: Insights from cosmogenic ¹⁰Be and optically stimulated luminescence determinations. *Tectonics*, 31(2).

Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). (2016). Resolución Exenta N°04/1/ 4/14 /0 2 1 0 DGAC 2016.

Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile (DGAC). (2018). Capa de Aerovías. Santiago. Chile.

Dirección General de Aeronáutica Civil de Chile (DGAC). (2018). Capa de Aeropuertos. Santiago. Chile

Dirección General de Aguas (DGA). Mapas. Recuperado de : <http://www.dga.cl/productosyservicios/mapas/Paginas/default.aspx>

Electric Power Research Institute (EPRI). (2002). Siting Guide: Site Selection and Evaluation Criteria for an Early Site Permit Application. Palo Alto, CA.

Federal Nuclear and Radiation Safety Authority of Russia (Gosatomnadzor of Russia), (2004). Siting of Nuclear Fuel Cycle Facilities. Basic Safety Criteria and Requirements. Moscú. Rusia.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2018). Resultado Censo 2017. Recuperado de: <https://resultados.censo2017.cl/>

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2012). "Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants". Viena. Austria.

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). "Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations". Viena. Austria.

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). New Technologies for Seawater Desalination Using Nuclear Energy. Vienna. Austria.

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2016). "Site Evaluation for Nuclear Installations". Viena. Austria.

Leyton, F. (2012). Propuesta de Modificación de Zonificación Sísmica de Chile. Reporte Técnico.

Leyton, F., Ruiz, S., & Sepúlveda, S. A. (2009). Preliminary re-evaluation of probabilistic seismic hazard assessment in Chile: From Arica to Taitao Peninsula. *Advances in Geosciences*, 22, 147-153.

Leyton, F., Sepúlveda, S.A., Astroza, M., Rebolledo, S., Acevedo, P., Ruiz, S., González, L., Foncea, C. (2011). Seismic zonation of the Santiago Basin, Chile. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Santiago, Chile.

Leyton, F., Sepúlveda, S. A., Astroza, M., Rebolledo, S., Acevedo, P., Ruiz, S. & Foncea, C. (2011). Seismic zonation of the Santiago basin, Chile. In 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering.

Ministerio de Agricultura. (2008). Ley sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. Santiago. Chile.

Ministerio de Bienes Nacionales. Infraestructura de Datos Espaciales Chile. Recuperado de: <http://www.ide.cl/>

Ministerio de Bienes Nacionales. Capas Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Recuperado de: <http://www.ide.cl/descarga/capas/advanced-search/3502.html>

Ministerio de Bienes Nacionales. Descarga de Capas DIFROL <http://www.ide.cl/descarga/capas.html>

Ministerio de Bienes Nacionales. Capa Zonas de Interés Turístico (ZOIT) Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). En IDE Chile. Recuperado de: <http://www.ide.cl/descarga/capas/advanced-search/133.html>

Ministerio de Bienes Nacionales. Capa Atractivos Turísticos Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). En IDE Chile. Recuperado de: <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/attractivos-turisticos.html>

Ministerio de Defensa. (1994). Política Nacional de Borde Costero. Santiago. Chile.

Ministerio de Energía. (2015). Política Energética 2050. Santiago. Chile.

Ministerio de Energía (2018). Planes Energéticos Regionales. Recuperado de: <http://www.minenergia.cl/per/index.php>

Ministerio de Energía - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2014). Energías renovables en Chile; el potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé. Santiago. Chile.

Ministerio de Medioambiente (MMA) (2015). Guía de orientación para el uso de la evaluación ambiental estratégica en Chile. Recuperado de <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/12/Guia-de-orientacion-para-la-eae-en-Chile.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Sistema Nacional de Información Ambiental. Recuperado de: <http://ide.mma.gob.cl>

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (1997). Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 15.840, de 1964 y del DFL. N° 206, de 1960. Santiago. Chile.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2018). Red caminera de Chile. Recuperado de: <http://www.mapas.mop.cl/>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2018). Definiciones Instrumentos de Planificación Territorial IPT. Recuperado de : http://www.minvu.cl/opensite_20070427120550.aspx

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Geoportal IDE Minvu. Recuperado de: <http://ide.minvu.cl/>

Nuclear Energy Insider. (2018). NRC ruling boosts SMR build prospects at disused coal Plants. Recuperado de : <https://analysis.nuclearenergyinsider.com/nrc-ruling-boosts-smr-build-prospects-disused-coal>

[plants?utm_campaign=NEI%2019SEP18%20Newsletter%20Version%20B&utm_medium=email&utm_source=Eloqua&elqTrackId=a9e56675c3b44acfab19e8d2a2096c9e&elq=4b6c14384c6c403299f0f5b57282dd27&elqaid=39523&elqat=1&elqCampaignId=21421](https://analysis.nuclearenergyinsider.com/nrc-ruling-boosts-smr-build-prospects-disused-coal-plants?utm_campaign=NEI%2019SEP18%20Newsletter%20Version%20B&utm_medium=email&utm_source=Eloqua&elqTrackId=a9e56675c3b44acfab19e8d2a2096c9e&elq=4b6c14384c6c403299f0f5b57282dd27&elqaid=39523&elqat=1&elqCampaignId=21421)

Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI). (2018). Plan Específico De Emergencia Por Variable De Riesgo – Tsunami. Santiago. Chile.

Rauld, R., Medina, F., Leyton, F., & Ruiz, S. (2015). Mapa de microzonificación sismo-geológica para Chile. XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Sitio de Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU). Recuperado de: <http://www.shoa.cl/php/descargas>

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Portal Geológico Minero GEOMIN. Recuperado de: <http://portalgeo.sernageomin.cl/geoportal/catalog/main/home.page>

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2011). Peligros Volcánicos de Chile. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental. Escala 1:2.000.000.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018). Estrategias vigentes Regionales de Desarrollo (ERD). Recuperado de: <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/estrategias-regionales-de-desarrollo>

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2011). Documento año 2011: Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT). Recuperado de: <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/documento-a%C3%B1o-2011-plan-regional-de-ordenamiento-territorial-prot-0>

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). Mapas Aplicación de Visualización de Mapas de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). <https://mapas.subpesca.cl/ideviewer/>

The Brattle Group, Inc. (2015). The Nuclear Industry's Contribution to the U.S. Economy. Estados Unidos.

Universidad de Chile, Departamento de Geología. (2009). Caracterización de Riesgos Naturales para el Desarrollo de un Programa Núcleo-Eléctrico en Chile. Santiago. Chile.

U.S. Geological Survey (USGS). (2018). USGS Authors New Report on Seismic Hazard, Risk, and Design for South America. Recuperado de: <https://www.usgs.gov/news/usgs-authors-new-report-seismic-hazard-risk-and-design-south-america>

U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC). (2014). General Site Suitability Criteria for Nuclear Power Stations. Washington DC. Estados Unidos.

World Nuclear Association (WNA). (2018). Desalination. Recuperado de: <http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/industry/nuclear-desalination.aspx>

Anexos

CD Adjuntos

Mapas de Zonas de Interés Cultural

Mapas de Áreas Naturales Protegidas

Mapas de Zonas de Peligro

Mapas de Zonas de Exclusión por Región