



# MEMORIA INSTITUCIONAL 2022

## COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR



## PRESENTACIÓN DE NUESTRO DIRECTOR EJECUTIVO

Bienvenidos y bienvenidas a la memoria institucional de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), de su ejercicio 2022.

La CCHEN es un instituto tecnológico de investigación público, por esto último, pertenece a todos los chilenos y todas las chilenas, y está al servicio de los y las habitantes del país. Es una institución cuyas labores impactan en diversos sectores de la sociedad.

Deseamos compartir con ustedes los resultados de nuestra labor en las diferentes áreas de impacto de nuestro trabajo; mostrar el aporte que la CCHEN hace en ámbitos públicos y privados de la vida nacional. Queremos que conozcan lo que hemos hecho en el último año; pero, especialmente, que perciban el potencial de logros de nuestra institución, en favor del país y de las personas que lo habitan.

Esperamos con este acto público, también, incorporar las observaciones y sugerencias que, como representantes de la sociedad civil, quieran hacernos en esta instancia. Nuestros especialistas en investigación y desarrollo, de servicio y productos que entregamos y que derivan de nuestras capacidades tecnológicas, del espectro de la gestión de soporte institucional, y quien habla, estamos aquí para responder sus inquietudes.

Queremos invitarles a que participen en el diálogo que seguirá a este proceso, y que consideren, desde ya, nuestra permanente disposición para recoger las inquietudes y los temas que nos quieran plantear, en un esquema participativo orientado al mejoramiento de nuestra propuesta de valor público.

**Dr. Luis Huerta Torchio**  
Director Ejecutivo de la CCHEN



## INTRODUCCIÓN

La Comisión Chilena de Energía Nuclear es un organismo dependiente del Ministerio de Energía, creado en el marco de la ley 16.319, de 1964. Está gobernada por un Consejo Directivo, integrado por siete representantes del gobierno central, esto es, de los ministerios de Energía y Salud, de las tres ramas de las Fuerzas Armadas y del Consejo de Rectores de Universidades Chilenas (CRUCH). A su vez, para la ejecución de su misión institucional, existe un equipo de alta dirección pública formado por una Dirección Ejecutiva y las jefaturas de cinco divisiones, con un capital humano cercano a los 300 funcionarios y funcionarias, organizado en equipos científico-técnicos multidisciplinarios, de regulación y fiscalización, gestión y administración.

La experiencia de 59 años de contribución al país la orientamos, actualmente, a áreas clave del desarrollo nacional, en las cuales las ciencias y las tecnologías nucleares, junto a las radiaciones ionizantes, tienen un rol significativo en materia de salud, medioambiente, materiales, energía. En esas áreas, el cáncer, el cambio climático, el litio, son temas donde nuestro trabajo tiene un impacto significativo.

Al mismo tiempo, tenemos la responsabilidad de regular y fiscalizar el uso seguro de tales tecnologías en las entidades públicas y privadas donde resultan útiles: me refiero a centros de medicina nuclear para las instalaciones radiactivas de 1ª categoría, la industria y las instalaciones nucleares del país.

Adicionalmente, la ley nos mandata para la regulación y fiscalización de la extracción y uso del litio, por su carácter de material de interés nuclear debido a su utilización en la fabricación del combustible para la fusión nuclear.

Responder a las necesidades y desafíos de esas áreas, y obtener resultados que puedan impactar en la solución de problemas o en la innovación, requiere de un equipo humano altamente especializado y de una orgánica institucional adecuada. De las cinco divisiones en que se halla compuesta la CCHEN, tres de ellas asumen la tarea de obtener resultados: la División de Investigación y Aplicaciones Nucleares, la División de Producción y Servicios, y la División de Seguridad Nuclear y Radiológica. Por su parte, la División Corporativa y la División de Gestión y Desarrollo de Personas, constituyen el soporte de toda nuestra actividad.

En primer lugar, el área de investigación y aplicaciones nucleares responde con un ecosistema que se articula en torno a cinco centros de investigación y desarrollo: Investigaciones nucleares aplicadas a salud (CINAS); Tecnologías nucleares en ecosistemas vulnerables (CTNEV); Materiales para la transición y sostenibilidad energética (METS); Intersección de física de plasmas, materia y complejidad (P2mc); y Física nuclear y espectroscopía de neutrones (CEFEN).

Un núcleo de recursos tecnológicos compartidos agrupa laboratorios de análisis físico, químico, isotópico, un centro de cómputos y otras instalaciones menores. Un núcleo de gestión de la investigación asegura el apoyo y seguimiento de los proyectos, con un Centro de Problemas y



Transferencia, este último para potenciar la interacción y el traspaso de tecnología con los diversos actores de la sociedad que puedan beneficiarse con lo que hacemos en I+D.

Pieza clave en el área de I+D, en particular, es el reactor nuclear de investigación, RECH-1. Próximo a cumplir 50 años de funcionamiento impecable, cuenta con un equipo profesional muy competente y de vasta experiencia, que apoya los estudios y análisis de materiales por activación o neutrografía. Una Planta de fabricación de elementos de combustible nuclear provee el material fisionable para el funcionamiento del reactor, una autonomía que no tienen muchos países en el mundo y siendo este un ejemplo de la alta competencia de los profesionales de la CCHEN.

Cierra el panorama el Centro para Ensayos No Destructivos de Obras Civiles, que apoya la evaluación estructural de edificios, puentes, y otros; una tarea de prevención de primera relevancia en un país sísmico como el nuestro.

El área de producción y servicios gestiona la provisión de servicios y asesorías especializadas que resultan de los productos del conocimiento en el ámbito nuclear. Una labor fundamental es la producción de radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento de cáncer, basada en radioisótopos creados en el reactor nuclear y un ciclotrón. Una planta semiindustrial de irradiación, la Planta de Irradiación Multipropósito en el Centro Lo Aguirre, además del Laboratorio de Irradiación del Centro La Reina, apoyan la seguridad alimentaria, la esterilidad de material quirúrgico y de hemocomponentes para uso clínico. Junto a lo anterior, instalaciones de dosimetría externa, biológica y citogenética, aportan al debido control y aseguramiento en el país de la protección radiológica de los y las operadores de equipos de radiaciones ionizantes y de los y las pacientes, en el caso de uso médico. En adición, instalaciones y profesionales de la división se encargan de la gestión de residuos radiactivos y fuentes de radioterapia en desuso.

Una unidad especializada, con manejo de modelos y equipos de medición, asume la vigilancia radiológica ambiental. Y un equipo con preparación a nivel internacional se halla a cargo de la respuesta a emergencias radiológicas. Por último, un laboratorio de referencia, con calificación internacional, se especializa en la metrología de radiaciones ionizantes, asistiendo a las instituciones y empresas del país que usan radiaciones en sus operaciones, para asegurar una precisa medición de las dosis radiológicas con base en instrumentos calibrados a una fuente patrón.

En el área de regulación y fiscalización de instalaciones nucleares y radiactivas de 1ª categoría, una División de Seguridad Nuclear y Radiológica incorpora profesionales experimentados/as en la tarea y que se organizan en tres secciones especializadas en el control de instalaciones que usan radiaciones en ámbitos diferentes: médicas, industriales, y de alta tecnología.

En esta cuenta les mostraremos qué estamos haciendo en cada uno de los ámbitos mencionados.



## Áreas de impacto

---

El campo de las aplicaciones de la energía nuclear y de las radiaciones ionizantes es muy amplio y crece constantemente, de la mano de la creatividad y la investigación. Por ello, una de nuestras labores permanentes consiste en encontrar nuevas áreas en las que la tecnología puede impactar de manera positiva.

Algunos de estos desafíos son parte de la diversificación, y a ellos orientamos nuestras capacidades. Concretamente, en materias de descarbonización y transición energética justa, de crisis climática y de diversificación productiva sostenible, nuestros centros de investigación aportan iniciativas en materias clave como nuevos materiales para almacenamiento y conversión de energía solar fotovoltaica y térmica, recuperación de materiales de interés para la industria energética y la minería urbana, reciclaje de paneles solares, alternativas para una extracción de litio amigable con el medioambiente, especies vegetales y forestales resistentes al cambio climático, monitoreo de contaminantes en la agricultura, entre otros.

Todo ello está dirigido no sólo a resolver problemas urgentes, sino también a contribuir a un modelo de desarrollo económico y humano para Chile, basado en el uso intensivo del conocimiento, el cuidado del medioambiente y la igualdad de oportunidades, para ofrecer un mejor horizonte a las generaciones futuras.

En las siguientes páginas se exponen estas y otras tareas en la que estamos embarcados como Comisión Chilena de Energía Nuclear.



## CCHEN SALUD

### Radiofarmacia para el cáncer

La CCHEN produce tres radioisótopos para diagnóstico y tratamiento de cáncer: Tecnecio-99m, Yodo-131 y Flúor-18. A ello se suma un conjunto de liofilizados, utilizados como juegos de reactivos o kits para la marcación de células cancerígenas.

#### Radioisótopos de reactor

El tecnecio y el yodo se producen a partir del reactor nuclear RECH-1, mientras que el Flúor-18, en nuestro ciclotrón. El Tecnecio-99m es uno de los radioisótopos más utilizados para el diagnóstico de alta precisión de cáncer en las personas. El Yodo-131, por su parte, se usa en el tratamiento del cáncer de tiroides y algunos otros cánceres del tejido nervioso.

En 2023, el RECH-1 realizó 238 producciones de Tecnecio-99m, el que, una vez procesado en los laboratorios destinados a radiofarmacia, se tradujo en la atención de 25.800 pacientes. Respecto del Yodo 131, hubo 30 producciones en el año, que significó atender a 5.400 pacientes.

- Optimización de la producción del tecnecio

Nos enfocamos en hacer más eficiente el proceso productivo, además de sostenible y con un mejoramiento en las condiciones de trabajo de las personas que elaboran estos productos. No está de más recordar que este equipo humano realizó su trabajo de manera presencial, ininterrumpidamente, en la pandemia.

Ese proceso concluirá a inicios de 2023, con un completo plan de mejoramiento, de mediano plazo, para la sostenibilidad de la producción radiofarmacéutica de la CCHEN, que busca fortalecer la infraestructura física, tecnológica y humana del área de producción de radiofármacos, contribuyendo, además, a profundizar el cumplimiento del reglamento sanitario, establecido por el Ministerio de Salud.

Sobre esto último, las inspecciones regulares por parte del Instituto de Salud Pública permitieron relevar con mayor fuerza, ante las autoridades, las necesidades de mejoramiento que el plan antedicho se propone abordar entre los años 2023 y 2025. Las regulaciones actuales para la actividad farmacéutica, en general, permiten asegurar estándares internacionales en la actividad y ello implica, necesariamente, que la CCHEN avance también en esa dirección. Somos el único productor nacional de yodo, tecnecio y liofilizados para marcación, lo que nos demanda una mirada estratégica del cumplimiento de nuestro rol para beneficio del país. Este plan de mejoramiento tiene un costo de \$7.821 millones, en un horizonte de tres años.



## **Radioisótopos de ciclotrón**

El Flúor-18 es un emisor de positrones y se usa en los exámenes PET (tomografía de emisión de positrones), técnica diagnóstica no invasiva que permite tomar imágenes del/a paciente, mediante el uso de sustancias marcadas radiactivamente que se distribuyen por todo el organismo. En cuanto a los radioisótopos de ciclotrón, en 2022 entregamos 2.527 dosis del radiofármaco a las instituciones de salud del país.

- **Avances del Proyecto Habilitación Operacional - Año 2022**

Este proyecto, destinado a concretar la habilitación operacional del nuevo laboratorio para producción del radiofármaco 18-FDG, consideró, en esta etapa, la implementación de sistemas de control de calidad para productos e insumos asociados en la nueva línea de producción, así como los registros y controles de calidad aséptica de equipos, instalaciones y operarios/as durante la producción rutinaria de radiofármacos.

Con el fin de las restricciones de la pandemia, durante el año 2022, fue posible cumplir con los servicios pendientes de mantenimiento contratados con las empresas IBA e ITD. Así, la llegada de expertos en el mantenimiento de estos equipos permitió proyectar mejoras en la operación de los módulos de síntesis y en la celda dispensadora, como así también reparar y optimizar equipos asociados a las celdas blindadas.

Con el apoyo de nuestra área de Talleres, se diseñó, construyó e instaló un nuevo sistema de dispensación y sellado de viales para la celda ITD, de modo de contar con un sistema de respaldo autónomo e independiente del sistema automatizado original de la celda. Hoy el proceso de envasado de dosis de 18F-FDG cuenta con una alternativa de respaldo para la continuidad del proceso de producción.

## **Liofilizados**

En lo que concierne a liofilizados, en 2022 se realizaron 31 producciones, que significó responder, en forma completa y oportuna, a 180 solicitudes. Esto permitió abastecer a 17 clientes, entre hospitales, clínicas y laboratorios clínicos, 15 de ellos en Santiago y 2 en regiones.

## **Control de calidad**

Una parte crucial del proceso de producción de radiofármacos es el control de calidad. Esta unidad de trabajo realizó 591 ensayos que involucraron radiofármacos y radioisótopos desarrollados en las áreas de producción de la CCHEN, según la siguiente distribución: 197 ensayos de Tecnecio-99m, 30 de Yodo-131, 13 de cápsulas de Yodo-131, 225 de 18-FDG y 126 de liofilizados. Adicionalmente, se analizaron insumos como material de envase, empaque y materias primas empleadas para manufactura de las distintas áreas productivas.



Por otra parte, la Sección Control de Calidad planificó y ejecutó un plan de validaciones para las metodologías analíticas de los productos terminados, a solicitud del Instituto de Salud Pública, a todos los laboratorios de producción farmacéutica. Las técnicas analíticas en proceso de validación abarcan las metodologías de análisis fisicoquímicas y microbiológicas.



## CCHEN SALUD

### Dosimetría, Metrología y Gestión de Residuos

La CCHEN mantiene varias líneas de servicio en dosimetría, como aporte a la salud ocupacional de quienes trabajan con radiaciones ionizantes, ya sea desde el área médica, industrial, de investigación y de seguridad.

#### Dosimetría externa

- En 2022, evidenciamos un aumento en el uso de esta técnica respecto a 2021, debido, en gran medida, a la mayor presencialidad de trabajadores y trabajadoras, tras la pandemia. Se registraron más de 27.000 dosis informadas, a partir de 489 solicitudes de usuarios, frente a las 322 solicitudes de 2021 y a las 219 de 2020.

Año	Dosímetros enviados	Solicitudes	Dosis Informadas
2018	23376	329	21809
2019	24143	341	20014
2020	22288	219	16016
2021	20292	322	16316
2022	21800	489	27009

Tabla 1: Solicitudes de envío de dosímetros y nuevas solicitudes de servicio entre 2018 y 2022.

- En lo referente al control dosimétrico del personal de la CCHEN, en 2022 se ingresaron 1939 dosis a la base de datos del servicio.

#### Dosimetría interna

- El servicio de dosimetría interna considera muestras de usuarios y la aplicación del contador de cuerpo entero. En 2022, realizamos 953 análisis in vitro y 240 análisis in vivo, provenientes de usuarios internos y externos a la CCHEN, con un total procesado de 1.193 análisis, levemente menor a los 1.220 análisis realizados en 2021.
- Destacó la participación de la Unidad de Dosimetría Interna en la Asociación para el Fomento de los Controles de Calidad en los Bioensayos Radiotóxicológicos (PROCORAD), correspondiente a un conjunto de laboratorios de alto nivel, que buscan armonizar técnicas, intercomparar análisis y mejorar protocolos a nivel mundial. Para ello organizan intercomparaciones con muestras reales para evaluar la calidad de los resultados de análisis médicos y promover buenas prácticas de laboratorio.

## Dosimetría citogenética

La dosimetría citogenética actúa en casos de emergencia radiológica que involucra a trabajadores y trabajadoras expuestas, como así también al público general. Si bien es un servicio disponible a solicitud de las autoridades competentes -tanto del Ministerio de Salud como de la CCHEN- sus capacidades son, además, aprovechadas para proyectos de investigación y colaboración, como:

- Se continuó implementando la técnica FISH, que permite identificar translocaciones y desarrollar dosimetría retrospectiva para casos de sobreexposiciones pasadas. Hoy el laboratorio cuenta con un protocolo estandarizado para realizar la técnica.
- En el marco del estudio de efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, trabajamos en colaboración con personal del reactor RECH-1 en la irradiación de muestras biológicas para estimar, mediante marcadores biodosimétricos, el efecto de neutrones térmicos sobre las mismas. Se realizaron ensayos de irradiación de muestras de sangre para evaluar el efecto biológico utilizando aberraciones cromosómicas inestables como marcador citogenético de daño radio-inducido.
- Tras la visita de académicos y académicas del Instituto de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile a la CCHEN en agosto de 2022, el laboratorio, también junto al equipo del RECH-1, participó en reuniones que dieron paso a una propuesta de actividades prácticas enmarcadas en el Programa de Magíster en Física Médica impartido por el Instituto.
- Con apoyo del OIEA, en el marco del proyecto “Fortalecimiento de la Infraestructura Nacional de Seguridad Radiológica” (CHI9024), el laboratorio adquirió un nuevo microscopio óptico de fluorescencia, asociado a un software de cariotipaje. Además, gracias a un plan de actualización y renovación de equipos, se adquirieron instrumentos para la operación rutinaria, que incluyó una centrifuga de mesa, cámara UV, sistema refrigerado de almacenamiento y computador. También se remodelaron las instalaciones del laboratorio para habilitar una nueva sala de microscopía.

## Metrología de Radiaciones Ionizantes en la Salud

El Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes es una instalación especializada y única en el país, que mantiene su condición de “Laboratorio designado para las magnitudes de radiaciones ionizantes” de la Red Nacional de Metrología, formalizada en convenio con el Instituto Nacional de Normalización. Esta capacidad permite asegurar el correcto funcionamiento de detectores y emisores de radiación, contribuyendo a la protección radiológica de operadores/as, usuarios/as y pacientes, como es en el caso de la medicina.

- Del total de calibraciones de equipos, 92 fueron para el sector salud. De estos últimos, 23 detectores corresponden a equipamiento de uso en medicina nuclear y radioterapia.

- En conjunto con el Instituto de Salud Pública, realizamos la Ronda de Intercomparación de Dosimetría Individual Externa, para laboratorios que prestan el servicio de dosimetría personal en el país y que están acreditados ante el Ministerio de Salud. El objetivo es monitorear el cumplimiento de los estándares de medición de radiaciones.

## Gestión de residuos radiactivos

Este servicio corresponde a la recepción, tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento de los residuos radiactivos entregados por generadores de los sectores de la industria, las universidades, la propia CCHEN y el área de la salud pública y privada del país. En conjunto, este último sector representó el mayor volumen de residuos generados, con 1,95 m<sup>3</sup> de material, de un total de 3,47 m<sup>3</sup> de residuos y fuentes radiactivas selladas en desuso recibido para los procesos de gestión desde todas las instituciones generadoras.

La distribución, según volumen entregado por tipo de clientes, se presenta a continuación, desglosado entre los años 2020 y 2022.

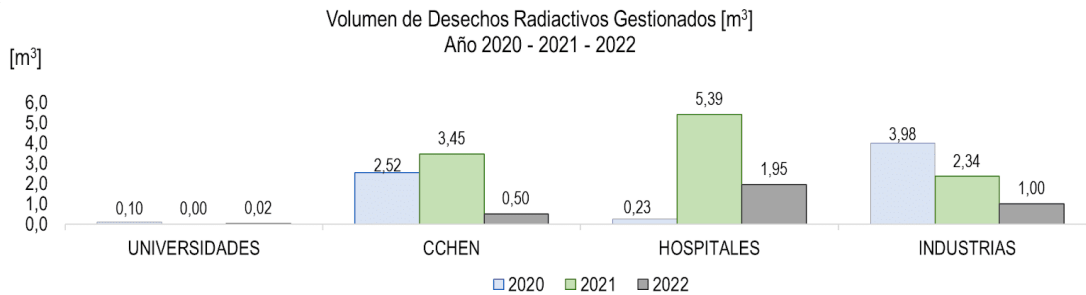


Gráfico 1: Volumen de desechos radiactivos gestionados entre 2020 y 2022.

En términos globales, la gestión de los desechos radiactivos se realizó a partir de la evaluación de 67 solicitudes de servicios, provenientes de clientes internos y externos, de las cuales 28 solicitudes provinieron de generadores de la CCHEN y 39, de clientes externos. De este último grupo, se recibieron desechos radiactivos de 11 instalaciones generadoras del país.

La función de la CCHEN en la gestión de residuos radiactivos es permanente e incluye, además de las tareas operativas, evaluaciones y asesorías a instituciones públicas y privadas de salud. En 2022 realizamos cuatro evaluaciones y asesorías de residuos radiactivos en terreno, entregándoles a los responsables las conclusiones de los análisis, las condiciones, las recomendaciones y los costos para realizar la gestión de sus materiales radiactivos, todo esto reportado a través de informes técnicos de las evaluaciones.



- Repatriación de fuentes selladas en desuso

Como parte de un proyecto conjunto con el OIEA, que contó con un financiamiento de 10 millones de euros por su parte, se realizó la repatriación de cabezales de cobaltoterapia a Alemania, para su reciclaje.

Un equipo multidisciplinario de la CCHEN apoyó el trabajo de la empresa Gamma Service Recycling, retirando del país 17 fuentes en desuso con destino a Alemania, correspondientes a cabezales de cobaltoterapia almacenados en instalaciones de nuestra Sección Gestión de Desechos Radiactivos. En 2023 se repatriarán otros 14 cabezales de cobalto.

La gestión de esta operación implicó tramitar cinco autorizaciones de exportación, cinco de transporte, una de transferencia, una resolución exenta autorizando la operación en la Instalación Centralizada de Desechos Radiactivos (ICADR) de la CCHEN y cuatro autorizaciones especiales de operador/a al personal de la empresa alemana. El proceso consideró, además, coordinaciones con las autoridades pertinentes, como el Servicio Nacional de Aduanas, Carabineros de Chile, Dirección General de Aeronáutica Civil y el órgano regulador alemán.

La operación se completó con éxito, significando para el país la oportunidad de reducir la presencia de este tipo de material radiactivo y la gestión de residuos que conlleva.



## **CCHEN SALUD**

### **Tecnología de Irradiación**

La Planta de Irradiación Multipropósito, emplazada en el Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre, juega un importante rol en el ámbito de la salud, al aprovechar su fuente de Cobalto 60 para sanitizar material médico quirúrgico. En 2022 se registró un aumento de material médico quirúrgico y afines recibidos para tratamiento con radiación gamma, de un 10% respecto al año anterior.

En relación al Laboratorio de Irradiación del Centro de Estudios Nucleares La Reina, su continuidad en el tratamiento de hemocomponentes con equipos de radiación gamma es fundamental para procedimientos médicos de personas con inmunodeficiencia. En 2022 tratamos más de 15.000 cargas provenientes de diversas instituciones de salud, donde tres de ellas -hospitales públicos- concentraron más de 4.000 de estos requerimientos.



## CCHEN SALUD

### Investigación y Desarrollo

#### Efecto de la radiación en la materia viva

Gracias al trabajo interdisciplinario entre nuestros centros de investigación CCHEN-ID, hemos abordado iniciativas que buscan aprovechar el efecto de distintos tipos de radiaciones en materia viva, con miras a su uso en la medicina.

Dos iniciativas financiadas a través de proyectos Fondecyt, exploraron el efecto de radiaciones pulsadas y de partículas, que aprovechan los rayos X y neutrones, con un efecto distinto al obtenido por la radiación gamma.

#### Proyectos

- **“Caracterización experimental de radiaciones pulsadas y partículas generadas por dispositivos de plasma focus de baja y muy baja energía y estudio de sus efectos en la materia” | Investigador principal: José Moreno | Financiamiento: ANID/FONDECYT Regular 2019 | Duración: 3 años.**

Este proyecto del Centro CCHEN-ID P2mc tuvo como uno de sus resultados principales mejorar el conocimiento sobre la tasa de dosis y la dosis por pulso para aplicar en materiales. Se lograron hacer irradiaciones para cinco tipos de líneas cancerígenas, tanto de colon como de vesícula. Uno de los resultados más relevantes en este estudio es el mayor efecto que se observa en todos los casos cuando se compara con irradiaciones provenientes de fuentes de rayos-X continuas o convencionales.

- **“Utilización de un dispositivo de plasma focus para estudiar los efectos de los rayos X pulsados sobre los linfocitos de sangre periférica: Análisis de aberraciones cromosómicas” | Investigador principal: Jalaj Jain | Financiamiento: ANID/FONDECYT Postdoctorado 2019 | Duración: 3 años.**

Por otro lado, también relacionado con los efectos biológicos de la radiación pulsada, se siguió con el estudio del uso de herramientas biosimétricas, en este caso las Aberraciones Cromosómicas Inestables (ACI) de linfocitos periféricos, para determinar en forma confiable y real la dosis absorbida por los sistemas biológicos sometidos a este tipo de régimen de radiación. El logro alcanzado se relaciona con el hecho que la radiación X entregada de esta forma, en su interacción con la materia celular utilizada como marcador biosimétrico (linfocitos), tiene un mayor efecto, incluso comparadas con radiación de alta LET, como son las partículas alfa.



## Presentación en encuentros científicos

- Charla “Aplicación del marcador citogenético para la cuantificación del daño radioinducido producido por un dispositivo de enfoque de plasma de rayos X pulsados”. 9ª Conferencia Internacional sobre Medicina del Plasma, ICPM9 | 27 de junio al 01 de julio de 2022, Utrecht-Países Bajos.
- Charla “Observación del efecto de alta LET de la radiación X pulsada, proveniente de un dispositivo plasma focus, con marcadores citogenéticos”. XXIII Simposio Chileno de Física, SOCHIFI 2022 | 22 al 24 de noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.
- Charla “Adaptación de la metodología para evaluar el daño citogenético inducido por rayos-X pulsados de baja energía”. XII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear, y X Congreso Regional | 23 al 27 de octubre de 2022. Santiago-Chile.

## Fortalecimiento de las capacidades para disponibilización de tejidos biológicos en tratamientos médicos

En línea con este desafío país, nuestro Centro de Investigaciones Nucleares para Investigaciones en Salud y Biomedicina (CINAS) participa en el proyecto para la implementación de un Laboratorio de Tejidos en la CCHEN, que busca contribuir al desarrollo de la actividad de tejidos en el país tanto desde el punto de vista asistencial, con una nueva sala de procesamiento bajo estándares de calidad de área blanca, como desde el punto de vista de la innovación, la investigación y el desarrollo tecnológico. Orientado a fortalecer la actividad del Banco Nacional de Tejidos del Ministerio de Salud, el financiamiento para esta iniciativa, proveniente del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, fue confirmado durante 2022, lo que hará posible la integración efectiva de otros proyectos, que cuentan con financiamiento del OIEA, que apuntan al mismo objetivo.

### Proyectos

- **“Fortalecimiento de las capacidades de irradiación de tejidos utilizados como soporte en ingeniería tisular para su uso en medicina regenerativa” | Investigadora principal: Ethel Velásquez | Financiamiento: OIEA | Duración: 2 años.**

En materia de colaboración internacional, el CINAS ha participado activamente en este proyecto, donde la CCHEN es contraparte nacional, en colaboración con la Coordinación Nacional de Donación, Procuramiento y Trasplante de Órganos y Tejidos (CNDPT) y el Banco Nacional de Tejidos (BNT) del Ministerio de Salud. El objetivo del proyecto es fortalecer la actividad de los bancos de tejidos y el uso de las tecnologías nucleares que contribuyen a proveer tejidos seguros y eficaces para el tratamiento de pacientes en todo el sistema de salud.

Esta capacidad se basará en infraestructura habilitada para dos tareas principales: por un lado, la gestión de tejidos irradiados en la CCHEN y, por otra parte, la I+D necesaria para la

diversificación de insumos. Estas instalaciones se implementarán, a su vez, en consonancia con la nueva normativa de gestión de tejidos para uso médico, impulsada por el Ministerio de Salud.



Imagen 1: Participación en proyectos de I+D.

- **“Fortalecimiento de las capacidades nacionales para la generación y el uso de tejidos radioesterilizados de calidad clínica para el tratamiento de patologías con alto impacto en la salud y calidad de vida” | Investigador principal: Ethel Velásquez | Financiamiento: OIEA | Duración: 2 años.**

A principios de 2022, el CINAS propuso al Banco Nacional de Tejidos y a la Coordinación Nacional de Donación, Procuramiento y Trasplante de Órganos y Tejidos trabajar en un concepto para presentar en el marco de la convocatoria del Programa Nacional de Cooperación Técnica del OIEA, correspondiente al ciclo 2024-2025.

Esta iniciativa, de la cual somos contraparte ante el OIEA, se aprobó en 2022, y en 2023 se desarrollará su fase de diseño. Este proyecto busca avanzar hacia un acceso equitativo,





mejoramiento continuo, generación de nuevo conocimiento y desarrollo de mejores herramientas terapéuticas, utilizando tejidos radioesterilizados como alternativa terapéutica rentable en términos de costo-efectividad.

## **Desarrollo de la radiofarmacia nacional**

### **Proyectos**

- **Implementación del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia**

Durante el año 2022, el CINAS dio continuidad a la formación del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia (LIDERA). En primera instancia, y en conjunto con el Departamento de Seguridad Integrada de la CCHEN, identificamos los requisitos de usuario que dieron origen a las bases técnicas y administrativas de la licitación. Así, durante el último trimestre del año, se inició la remodelación del espacio físico destinado al LIDERA.

Adicionalmente, el Departamento de Seguridad Integrada realizó una positiva evaluación preliminar de seguridad radiológica del LIDERA. En 2023 se prevé obtener la autorización de operación del Laboratorio, otorgada por la División de Seguridad Nuclear y Radiológica, y se implementarán los instrumentos de análisis necesarios para las actividades de I+D de las que se ocupará la instalación.

Por otro lado, en 2022 iniciamos actividades de capacitación vinculadas a la formación del personal a cargo del LIDERA. Ello, a través de la visita técnica del Dr. Cristian Salas, académico e investigador de la Pontificia Universidad Católica de Chile, al Laboratorio Nacional de Investigación y Desarrollo de Radiofármacos (LANIDER) en México, dando paso así a un trabajo colaborativo entre el LIDERA y el Laboratorio de Síntesis Química Orgánica de la Facultad de Química y Farmacia de la PUC, en lo que respecta a la síntesis de precursores peptídicos para radiomarcación, con lo que se busca fortalecer la capacidad de obtención de estos compuestos en nuestro país.

Sala de Química General



Sala de Equipos



Sala de Radioquímica



Imagen 2: Avances en la remodelación del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia.

- **“Obtención y reciclaje de trióxido de molibdeno de pureza analítica para la producción de radiofármacos en CCHEN” | Investigador principal: José Joaquín Hernández | Financiamiento: CCHEN | Duración: 18 meses.**

Aprovechando el conocimiento del Centro de Investigación de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética (METS), este proyecto pretende desarrollar la tecnología de obtención de materias primas de óxido de molibdeno de pureza analítica, de origen nacional, para la producción de radiofármacos y a la vez, contribuir en la gestión de los desechos generados en esa línea de producción. En la CCHEN existen alrededor de 240 kilos de Molibdato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ), almacenados como desechos radiactivos en forma transitoria, en el Laboratorio de Producción de Radiofármacos. A la espera de su disposición final o tratamiento, estos desechos radiactivos tienen el potencial de ser reutilizados para la producción de radiofármacos u otras aplicaciones nucleares.

La ejecución de este proyecto apunta a asegurar el suministro de molibdeno de pureza analítica para la producción de radiofármacos en la CCHEN, que depende hoy de la compra internacional de trióxido de molibdeno. Por otro lado, ayuda en el reciclaje de desechos líquidos y sólidos de los procesos, colaborando a mantener la capacidad de almacenamiento.



## CCHEN ENERGÍA

En años recientes la CCHEN aprovechó una serie de capacidades humanas y tecnológicas para orientarlas principalmente en su centro de investigación de Materiales para la Sostenibilidad y la Transición Energética, METS, a lo que se ha sumado una importante iniciativa que aprovecha el plasma miniaturizado como fuente de microenergía para satélites.

### Materiales para el futuro energético

#### Metodologías de obtención de elementos críticos para la industria energética

##### Proyectos

- **"Recuperación de litio y cobalto, desde baterías desechadas, mediante implementación de técnicas hidrometalúrgicas" | Investigador principal: Peter Fleming | Financiamiento: CCHEN (año 2021) | Duración: 2 años.**

En el caso de economía circular, en 2022 iniciamos este estudio, con un potencial de aplicación en la electromovilidad, principalmente en escalamientos en la gestión de insumos provenientes de vehículos de gran tamaño. El proyecto consideró pruebas de lixiviación de materiales para la eficiencia de recuperación de estos elementos, generando una solución portadora de los mismos. Esta solución obtenida fue concentrada y purificada mediante pruebas de extracción por solvente (SX) e intercambio iónico (IX), para comparación del comportamiento de estos elementos y la eficiencia determinada con ambas técnicas. Con la finalidad de obtener un concentrado de los elementos de interés, la solución obtenida en la tercera etapa se sometió a pruebas de precipitación química, para la obtención de carbonato de litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) y sales de cobalto (principalmente sulfatos).

- **"Obtención de concentrado de óxido ETR, desde ripios mineros portadores" | Investigador principal: Peter Fleming | Financiamiento: CCHEN (año 2021) | Duración: 2 años.**

El proyecto se enfoca en evaluar la factibilidad técnica de implementar un proceso químico-metalúrgico para obtener un concentrado de óxido de ETR desde ripios mineros portadores de estos elementos, los cuales fueron generados en una etapa de lixiviación sulfúrica de mineral cuprífero proveniente del Sector Cerro Carmen, Región de Atacama. La finalidad principal es generar un beneficio de estos residuos, considerados como una de las fuentes de mayor relevancia para el desarrollo de la "nueva minería" en Chile, aportando en desarrollar una metodología para la obtención de elementos críticos para los nuevos desafíos de la industria energética y a la vez, contribuir con la diversificación de la matriz minera nacional y generar una economía circular, mediante la posibilidad de dar una segunda vida a estos residuos mineros.

La solución química de avance obtenida en las etapas iniciales fue sometida a un proceso de precipitación química, en donde se determinó la influencia de agentes precipitantes, parámetros y condiciones operacionales que influyen en la formación del precipitado de ETR a partir de sus iones en solución, determinación de humedad del sólido, pruebas de secado, entre otros. Posteriormente, se obtiene como producto un concentrado de óxido de estos elementos, el cual será caracterizado química y físicamente.

### Presentación en encuentros científicos

- Charla “En búsqueda de la purificación eficiente y sostenible de salmueras de litio, proyecciones e investigación desde el sector público”. Simposio del Litio, FIC-R, Universidad Católica del Norte (UCN) | Autor: Julio Urzúa | 3 y 4 de octubre de 2022, Antofagasta-Chile.
- Poster "Recuperación de elementos de tierras raras a partir de residuos sólidos mineros, elementos críticos para la industria energética". 9ª Conferencia Internacional en Litio, Minerales Industriales y Energía (IWLIME 2022) | Autor principal: Peter Fleming Rubio; Otros Autores: Pedro Orrego, Vicente Peñaloza, Jaime Huentrutripay, Jordan Salazar | 12 al 14 de diciembre de 2022, Santiago-Chile.

## Nuevos materiales de almacenamiento y conversión eficiente de energía

### Proyectos

- **“Implementación de un equipo de sputtering para el desarrollo de ionanofluidos para el almacenamiento y transferencia de energía solar” y “Estudio de un sistema de desarrollo de ionanofluidos para almacenamiento y transferencia de energía” | Investigadora principal: María José Inestrosa | Financiamiento: CCHEN (año 2021) | Duración: 2 años.**

En las Plantas de Energía Solar Concentrada (CSPP) la energía solar se almacena durante el día para ser utilizada durante la noche. La radiación solar se concentra en una pequeña área donde es reflejada hacia un receptor, donde es recogida por un portador térmico de energía, que generalmente transfiere el calor a una turbina que finalmente produce electricidad. Uno de los materiales clave es el de almacenaje de energía.

Un material propuesto son los líquidos iónicos, los que poseen un amplio intervalo de estabilidad térmica, bajo punto de fusión (muchos de ellos se encuentran líquidos a temperaturas bajo cero), y muy baja presión de vapor.

A su vez, en los últimos años los líquidos iónicos se han propuesto como agentes estabilizadores de nanomateriales, confiriéndoles la protección química y la mejora de las propiedades fisicoquímicas, mejorando su estabilidad y permitiendo su reutilización para diversas operaciones. Así entonces, el proyecto implementa en 2022 un equipo de sputtering con capacidad para depositar nanomateriales sobre fluidos. La combinación de estos materiales, los

ionanofluidos, permitiría potenciar propiedades específicas, vislumbrando en este caso la posibilidad de una alternativa a los fluidos térmicos convencionales.

### Artículo científico

→ Se publicó el artículo “Ionanofluidos basados en mezclas de líquidos iónicos, un nuevo enfoque como material alternativo para el almacenamiento de energía solar”, que señala cómo demostró que la capacidad calorífica ( $C_p$ ) alcanza incrementos de hasta 3,7 y 3,2 veces la de las sales nitradas y el fluido comercial Therminol VP-1, lo que se traduce en una densidad de almacenamiento térmico ( $E$ ) un 9,4% y un 284% mayor, respectivamente, e incluso una menor difusividad térmica ( $\alpha$ ), lo que apoya la idea preliminar de utilizar estos nuevos materiales para el almacenamiento de energía.

#### *Resumen*

Los materiales híbridos basados en líquidos iónicos (LIs) conocidos como Ionanofluidos (INFs) han mostrado interesantes mejoras en sus propiedades termofísicas en comparación con sus fluidos base (BF). Dentro de este grupo, los INFs obtenidos utilizando mezclas de líquidos iónicos como BFs han sido prácticamente ignorados hasta ahora. En este trabajo se elaboraron INFs compuestos por dos mezclas equimolares de LIs, [Omim][PF6] + [Odmim][PF6] y [Omim][PF6] + [Odmim][BF4] como fluidos base y Nanotubos de Carbono Multipared (MWCNTs) con porcentajes en peso de 0.04, 0.06, 0.08, y 0.1 wt%. Además, se evaluaron las propiedades termofísicas de los nuevos materiales propuestos y se compararon con los materiales convencionales utilizados actualmente en los sistemas de almacenamiento de energía solar. Se demostró que la capacidad calorífica ( $C_p$ ) alcanza incrementos de hasta 3,7 y 3,2 veces la de las sales nitradas y el fluido comercial Therminol VP-1, lo que se traduce en una densidad de almacenamiento térmico ( $E$ ) un 9,4% y un 284% mayor, respectivamente, e incluso una menor difusividad térmica ( $\alpha$ ), lo que apoya la idea preliminar de utilizar estos nuevos materiales para el almacenamiento de energía.

Ver aquí: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118677>

- **“Caracterización eléctrica de cerámicas electrónicas” | Investigador principal: Ricardo Ávila | Financiamiento: CCHEN (año 2021) | Duración: 3 años.**

La iniciativa busca el desarrollo de materiales termoeléctricos para captura de calor, normalmente desechado al ambiente por la industria y, por otra parte, el desarrollo de materiales para almacenamiento, transporte y conversión eficiente de energía vía baterías de litio.

El proyecto identifica el tipo de conducción (electrónica o iónica) en calcogenuros tipo espinela, cloruro de sodio y estanita, y los correlaciona con la estructura granular del material. De allí, se espera correlacionar estos modelos con los procesos de síntesis, buscando optimizar la respuesta

termoeléctrica. Similarmente, del estudio del transporte de litio, y su competencia la conducción electrónica, se maximiza la primera mientras se minimiza la segunda.

- **“Nuevos Materiales en Celdas Solares Orgánicas para mejorar la eficiencia” | Investigadora principal: Gloria Neculqueo | Financiamiento: CCHEN (año 2021) | Duración: 2 años.**

Continuación de un proyecto ANID, la iniciativa evaluó la nanointercapa de litio 8-hidroxiquinolinato (Liq) como parte del sistema de capa de interconexión (ICL) Liq |Aluminio |Óxido de Molibdeno (MoO<sub>3</sub>) para producir dispositivos fotovoltaicos orgánicos (OPV) en tándem.

### Artículo científico

→ “Nanocapa de litio 8-hidroxiquinolinato en dispositivos fotovoltaicos orgánicos (OPV) en tándem” | Gloria Neculqueo y Felipe A. Angel.

Se destacan los resultados que confirmaron las ventajas de incorporar Liq, proporcionando aún más estabilidad, en particular a los dispositivos expuestos al aire. A su vez, la publicación reseña cómo, a continuación, se prepararon dispositivos OPV simétricos en tándem optimizando el espesor de la capa intermedia de aluminio para obtener un ICL eficiente. Aunque se obtuvieron eficiencias de conversión de potencia limitadas debido a la simetría de la arquitectura del dispositivo, las medidas eléctricas, ópticas y de vida útil confirmaron que Liq|Al|MoO<sub>3</sub> es una ICL adecuada para conseguir dispositivos OPV en tándem.

### Resumen

Se evaluó la nanointercapa de litio 8-hidroxiquinolinato (Liq) como parte del sistema de capas de interconexión (ICL) Liq|Al|MoO<sub>3</sub> para producir dispositivos fotovoltaicos orgánicos (OPV) en tándem. En primer lugar, se estudió la dependencia del grosor del Liq en el rendimiento de los dispositivos OPV monopila, así como su estabilidad exponiendo los dispositivos a diferentes condiciones de degradación.

Los resultados confirmaron las ventajas de incorporar Liq, proporcionando aún más estabilidad, en particular a los dispositivos expuestos al aire. A continuación, se prepararon dispositivos OPV simétricos en tándem optimizando el espesor de la capa intermedia de Al para obtener un ICL eficiente. Aunque se obtuvieron eficiencias de conversión de potencia limitadas debido a la simetría de la arquitectura del dispositivo, las medidas eléctricas, ópticas y de vida útil confirmaron que Liq|Al|MoO<sub>3</sub> es una ICL adecuada para conseguir dispositivos OPV en tándem.

Ver aquí: <https://doi.org/10.1007/s10854-022-08261-2>



## Presentación en encuentros científicos

- Póster “Las mezclas de líquidos iónicos, posibles materiales de almacenamiento de energía solar”. Congreso Europeo de Materiales Avanzados 2022 | Dr. Julio Urzúa y Dra. María José Inestrosa | 25 de junio al 2 de julio de 2022, Génova-Italia.
- Presentación “Producción de tetrafluoruro de uranio a escala piloto mediante una célula de electrodos de mercurio”. 13ª Conferencia Internacional sobre Catálisis, Ingeniería y Tecnología Químicas | Dr. Munir Dides y Dr. José Joaquín Hernández | 21 y 22 de octubre de 2022, Boston, Massachusetts-Estados Unidos.

## Física de plasmas para aplicaciones en energía

### Propulsión de nanosatélites

#### Proyectos

- **“Propulsor de plasma miniaturizado para nanosatélites CubeSat” | Investigador principal: Leopoldo Soto | Financiamiento: ANID/FONDECYT Regular 2021 | Duración: 4 años.**

En el campo de la microenergía, esta iniciativa busca, en conjunto con la Universidad de Chile, crear un propulsor de plasma miniaturizado para nanosatélites Cubesat, los que, gracias a dicho propulsor, podrían ser orientados de manera eficaz para optimizar sus capacidades de observación. En 2022 se completó el diseño y la construcción del generador pulsado y se integró a un cañón de plasma. Se realizó la caracterización eléctrica y se hicieron mediciones del campo de temperatura en el condensador en operación.

En esta línea, se busca aprovechar, por una parte, la experiencia de nuestro Laboratorio de Plasmas y Fusión Nuclear en miniaturización de dispositivos de plasmas pulsados; y, por otra, la del Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria de la Universidad de Chile que, en el año 2017, puso en órbita el primer nanosatélite con tecnología CubeSat diseñado y construido en el país, el SUCHAI-1. En las siguientes misiones SUCHAI será necesario orientar los nanosatélites durante su órbita, para poder, por ejemplo, tomar imágenes de la Tierra o información de diferentes puntos del Universo.

#### Presentación en encuentros científicos

- Charla “Estado de la investigación sobre propulsión por microenergía pulsada para la orientación de nanosatélites”, XXIII Simposio Chileno de Física (SOCHIFI) | Leopoldo Soto, Cristian Pavez, Marcos Díaz, José Pedreros, Karla Aubel, Leonardo Herrera | 22 al 24 de noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.



→ Charla virtual “Física del plasma en pequeños dispositivos experimentales para investigación fundamental, energía, biomedicina, materia y nanosatélites”, “Taller internacional y reunión de expertos 2022, ICDMP | Leopoldo Soto, Cristian Pavez, José Moreno, Gonzalo Avaria, Jalaj Jain, Biswajit Bora, Sergio Davis, Marcelo Vásquez | 17 y 18 de diciembre de 2022.

## Nanopartículas en almacenamiento de energía

### Proyectos

- **“Síntesis de nanopartículas con el método de expansión de plasma termal supersónico o antorcha de plasma” | Investigador principal: Biswajit Bora | Financiamiento: ANID/FONDEF IdeA 2021 | Duración: 12 meses.**

En materia de valor agregado para una industria de materiales basados en litio, culminó con éxito el proyecto de síntesis de nanopartículas con el método de expansión de plasma termal supersónico o antorcha de plasma. Las nanopartículas obtenidas tienen potencial para utilizarse en dispositivos de almacenamiento de energía de alta densidad.

Este proyecto Fondef, denominado “Síntesis de nanopartículas de Li-S-C para dispositivos de almacenamiento de energía de alta densidad mediante el método de expansión de plasma termal supersónico”, comenzó en 2019 y finalizó en junio de 2022, con el objetivo de producir nanopartículas de litio (Li), azufre (S) y carbono (C) para obtener una mayor capacidad de almacenamiento de energía. El proyecto se llevó a cabo con participación de la empresa Nanotec Protech SpA.

En esta línea, además, tenemos en trámite una patente: “Synthesis of Li-S-C nanoparticles by the supersonic thermal plasma expansion method for energy storage” (B. Bora, M. Rios, G. Avaria, J. Urzua, USPTO Application #63/368,524).





## CCHEN ESTADOS DE LA MATERIA

### Plasmas y fusión nuclear

Los estados fundamentales de la materia son un tema clave de investigación científica en la CCHEN. Es así que el Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad (P2mc) trabaja para comprender el llamado cuarto estado de la materia. Este grupo de investigadores de prestigio internacional ha posicionado al país como un innovador en el campo.

#### Proyectos

- **Proyecto “Investigación fundamental en descargas plasma focus de baja energía en un régimen altamente eficiente de producción de neutrones” (Investigador principal: Cristián Pavez; Financiamiento: ANID/FONDECYT Regular 2021; Duración: 4 años).**

En la etapa 2022, de los resultados se observa que estructuras tipo filamentos que se forman en la lámina de plasma, para experimentos de fase axial larga, se mantienen en una porción de la lámina de plasma sin alcanzar la fase axial. Esto podría dar cuenta de la eficiencia de compresión y así la clara aparición de inestabilidades MHD y voltajes inducidos, al igual que una mayor producción de neutrones de fusión. Parte de estos resultados condujeron a un artículo WOS.

Se realizó una campaña en el marco de una colaboración con el Investigador Ariel Tarifeño del Instituto de Física Corpuscular, de la Universidad de Valencia. Para la evaluación se utiliza un detector de neutrones de respuesta plana en la región de energía de interés (detector de referencia) y un par de detectores que se posicionan en diferentes distancias respecto a la fuente emisora.

#### Artículos científicos

→ “Model of Thomson scattering from z-pinch plasma: application in experimental design for Plasma Focus”. Focus. Results in Physics, 40, 105831, septiembre de 2022.

Basándose en la fenomenología observada en descargas dynamical-pinch de interés en los estudios de fusión, la dinámica del plasma se modela mediante una distribución de velocidad axisimétrica bimaxwelliana con velocidades de deriva axial y radial. Se deducen expresiones para el factor de forma de TS y las integrales de apantallamiento, y se reconstruyen los espectros de TS. Se identifica una temperatura característica del espectro, que viene determinada por una suma ponderada de las temperaturas axial y radial, cuyos coeficientes vienen dados por el cuadrado de los respectivos componentes axial y radial de  $k \rightarrow$  sobre el cuadrado de la magnitud de  $k \rightarrow$ . Se demuestra que no es posible determinar la función de distribución de velocidades del plasma a partir de una sola dirección de medida. Además, se analiza un montaje experimental, que requiere dos direcciones de observación

complementarias para una determinación completa de la función de distribución propuesta, y se estudia su capacidad para medir la anisotropía térmica y las velocidades de deriva para las condiciones de plasma esperadas en la fase de pinch de una descarga de plasma focus.

Ver aquí: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2022.105831>

→ “New evidence about the nature of plasma filaments in plasma accelerators of type plasma-focus”. Plasma Physics and Controlled Fusion, 65(1), 015003, noviembre de 2022.

En este trabajo se reportan nuevas evidencias e información sobre el origen y evolución de las estructuras filamentosas observadas en la vaina de corriente de un pequeño foco de plasma (PF) de descarga. Los experimentos se llevaron a cabo en un pequeño generador de baja energía (generador multipropósito) en la configuración PF, bajo diferentes condiciones de operación. Estas incluyen diferentes geometrías de ánodo y aislante, sin barras de retorno y en un régimen de alto rendimiento del generador a altas presiones ( $>10$  mbar). La evolución de las estructuras plasmáticas se caracteriza mediante técnicas ópticas de refracción. El comportamiento eléctrico de la descarga, así como su rendimiento, se monitorizan con diagnósticos eléctricos convencionales y detectores de neutrones y rayos X, respectivamente. Los filamentos de plasma de la misma especie están presentes en todas las configuraciones ensayadas, sin embargo, en los experimentos con mayor longitud efectiva del ánodo (y menor radio del ánodo), la región de plasma que contiene los filamentos se aleja de la superficie del ánodo y permanece confinada en una región de la vaina de plasma, como un cinturón de plasma toroidal, sin alcanzar la parte superior del ánodo ni participar en la fase de compresión radial. Según las imágenes de la vaina de plasma en su fase inicial, los filamentos se originan y evolucionan a partir de un plasma anular precursor formado en la parte inferior del ánodo junto al aislante, durante el proceso de ruptura eléctrica. El carácter local que adquieren estas estructuras denso-filamentosas en la evolución de la envoltura plasmática descartaría la hipótesis corriente-filamento. Por otro lado, experimentos realizados en gas deuterio con ánodos de mayor longitud efectiva y sin filamentos en la fase de compresión radial permitieron la producción de neutrones y rayos X con un alto rendimiento.

Ver aquí: <https://doi.org/10.1088/1361-6587/aca358>

### **Presentación en encuentros científicos**

Los siguientes trabajos fueron presentados en el XXIII Simposio de la Sociedad Chilena de Física (SOCHIFI), realizado en Valparaíso, en 2022. Los trabajos presentados tanto en el ámbito científico como de educación, son:

→ “Mirando el mundo a través de un pequeño agujero: Experimento ilustrativo para educación media de formación de imágenes a través de una cámara oscura” (área de educación).



- “Experimento ilustrativo para educación media de las características refractivas de elementos transparentes” (área de educación).
- “Estudio del espectro de energía de un campo neutrónico en condiciones de baja dispersión” (área de física nuclear).
- “Diseño de blindajes para minimizar la contribución de neutrones retrodispersados en experimentos de medidas de neutrones pulsados” (área de física nuclear).
- “Comparación de las dosis de rayos X pulsadas obtenidas con un dispositivo de enfoque de plasma de cien julios y de un kilojulio” (área de física de plasma y electrodinámica).

## Proyectos

- **“Mediciones espectroscópicas de efecto Zeeman para caracterizar el campo magnético en una descarga Plasma Focus de baja energía” | Investigador principal: Gonzalo Avaria | Financiamiento: ANID/FONDECYT Regular 2021 | Duración: 2 años.**

A partir de la colaboración establecida con el grupo de Plasmas de la Pontificia Universidad Católica de Chile, se ha podido medir (con la configuración óptica diseñada en CCHEN) el campo magnético presente en una descarga de gas puff. En esta medición se determinó una magnitud de campo magnético aproximado de 17 (Tesla) en la capa externa de la columna.

## Artículo científico

- “Inferencia bayesiana de datos espectrométricos y validación con simulaciones numéricas del diagnóstico de la envoltura de plasma de un foco de descarga de plasma” | Gonzalo Avaria, Alejandro Clause, Sergio Davis, Cristian Pavez, Nelson Villalba, Osvaldo Cuadrado, Jose Moreno, H. Marcelo Ruiz y Leopoldo Soto (2022) | Scientific Reports, 12(1), 15601.

### *Resumen*

Los focos de plasma son descargas coaxiales pulsadas con numerosas aplicaciones radiológicas e interesantes fenómenos científicos. Aunque la física ha dado respuesta a gran parte de los procesos implicados en estas descargas, muchas cuestiones fundamentales relacionadas con ellas siguen obstinadamente sin resolverse. Uno de los obstáculos a un conocimiento más profundo es la escasez de datos experimentales fiables. Este trabajo presenta una evaluación experimental elaborada de la densidad de electrones en la fase de desintegración de un Plasma Focus de 400 J que funciona con hidrógeno. La caída de la vaina de plasma es básicamente una onda de choque hipersónica entre dos electrodos coaxiales acelerada por la fuerza de Lorentz, y es importante controlar la formación de pellizcos. La densidad de electrones de la vaina que pasa se mide mediante la emisión alfa de hidrógeno ensanchada por Stark con resolución espacial y temporal. Los datos experimentales se postprocesan utilizando la evaluación bayesiana de probabilidades a posteriori. Los resultados se combinan con el modelo numérico CShock para construir una explicación fundamentada del comportamiento de la vaina durante el descenso. En particular, es posible



calcular la formación de una inestabilidad toroidal de la que se ha informado en experimentos anteriores, y estimar la temperatura de la vaina de plasma (4-20 eV) y la velocidad (62,5 km/s) en esta etapa.

Ver aquí: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19764-7>

### Presentación en encuentros científicos

→ Charla "Medición del campo magnético en la etapa radial de las descargas PF-400J y Llampudkeñ mediante efecto Zeeman". XXIII Simposio SOCHIFI, 22 al 24 de noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.

### Proyecto

- **“Formulación Bayesiana de la Mecánica Estadística para estados estacionarios fuera del equilibrio” (Investigador principal: Sergio Davis; Financiamiento: ANID/FONDECYT Regular 2022; Duración: 4 años).**

En los aspectos computacionales de la investigación en mecánica estadística, en colaboración con Dr. Felipe Moreno, Dra. Claudia Loyola y Dr. Joaquín Peralta de la Universidad Andrés Bello presentamos [1] una implementación propia del algoritmo de Wang-Landau, el cual permite calcular la densidad de estados de sistemas físicos, y con esto en principio las propiedades termodinámicas. En colaboración con Dra. Claudia Loyola y Dr. Joaquín Peralta hemos estudiado [2] el fenómeno de fusión ultrarápida del sólido en el contexto de daño por radiación, y allí presentamos evidencia de que es posible inducir un estado sólido sobrecalentado crítico por medio de un “impacto” de alta energía en uno de los átomos.

En cuanto a la formulación de una teoría de sistemas termodinámicos fuera del equilibrio, hemos propuesto [3] una clasificación de los estados estacionarios que poseen temperatura en dos categorías: estados supercanónicos y subcanónicos, dependiendo del signo de la covarianza  $U$  entre las temperaturas inversas de dos regiones del sistema. Los estados supercanónicos, que tienen  $U \geq 0$ , son compatibles con la teoría superestadística; no así los estados subcanónicos, que poseen  $U < 0$  y que por lo tanto constituyen todo un espacio de modelos por explorar.

Junto a esto, en colaboración con Constanza Farías, estudiante de doctorado en Física de la Universidad Andrés Bello, hemos mostrado [4] que una región cualquiera de una cadena de Ising a energía constante no puede ser descrita por la teoría superestadística, precisamente por sólo tener acceso a estados subcanónicos (con  $U < 0$ ). Este trabajo constituye un preprint que está ahora en revisión.

Relacionado a los conceptos de complejidad, información y emergencia, en colaboración con M. Sc. Yasmín Navarrete del Instituto de Filosofía y Ciencias de la Complejidad (IFICC) hemos introducido [5] la idea de sistemas frágiles, esto es, sistemas físicos que resultan modificados tras

una observación o medición, en un contexto más general que la mecánica cuántica. Se discute la existencia de propiedades emergentes en el contexto de dichos sistemas y se propone usar la información mutua cuántica como indicador para detectar posibles comportamientos emergentes.

En la línea de aplicaciones interdisciplinarias de los conceptos de inferencia estadística y probabilidad bayesiana, en colaboración con Dra. Claudia Loyola y Dr. Joaquín Peralta hemos explorado [6] el problema de cómo corregir un puntaje (ej. una nota o calificación) de la manera menos sesgada posible, en el caso en que dicho puntaje proviene de una fuente poco confiable.

### Presentación en encuentros científicos

- Charla “Densidad configuracional de estados y fusión de sólidos simples”, XXIX Congreso Nacional de Física | Sergio Davis, Claudia Loyola, Joaquín Peralta | Septiembre de 2022, Armenia-Colombia.
- Charla “Temperatura en estados estacionarios de no equilibrio: superestática y más allá”. XXIX Congreso Nacional de Física | Sergio Davis | Septiembre de 2022, Armenia- Colombia.
- Charla “Fusión homogénea en el conjunto microcanónico”, XXIII Simposio Chileno de Física | Vivianne Olguín, Sergio Davis, Gonzalo Gutiérrez | Noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.
- Charla “Fluctuaciones de temperatura en sistemas finitos: Aplicación a la cadena de Ising unidimensional”, XXIII Simposio Chileno de Física | Constanza Farías, Sergio Davis | Noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.
- Charla “Temperatura y sus fluctuaciones en estados estacionarios fuera del equilibrio”, XXIII Simposio Chileno de Física | Sergio Davis | Noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.
- Charla “Temperatura electrónica, cuantización de Wigner-Moyal e inferencia estadística”, XXIII Simposio Chileno de Física | Boris Maulén, Sergio Davis, Daniel Pons, Eduardo Chamorro | Noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.
- Charla “Lógica e inferencia mediante simulación Monte Carlo Metropolis”, XXIII Simposio Chileno de Física | Gustavo Wörner, Joaquín Peralta, Sergio Davis | Noviembre de 2022, Valparaíso-Chile.
- Charla “Densidad configuracional de estados y fusión de sólidos simples”, 17° Seminario Internacional sobre Física de la Materia Condensada y Física Estadística | Sergio Davis, Joaquín Peralta, Claudia Loyola | Noviembre y diciembre de 2022, Temuco-Chile.

### Proyecto

- **“Optimización y modificación de un plasma focus de un kilojoule, radiación pulsada (rayos X, neutrones) y partículas cargadas y sus aplicaciones a materiales orgánicos e inorgánicos” | Investigador principal: Jalaj Jain | Financiamiento: ANID/FONDECYT Postdoctorado 2019 | Duración: 2 años.**

El proyecto concluyó en marzo de 2022. Se presentó el informe final FONDECYT, que fue aprobado. Como continuación de esta investigación se diseñó una nueva configuración



experimental para estudiar la dirección axial de un dispositivo de plasma focus de kilojulios, PF-2kJ. Se completó la fabricación de las diferentes piezas durante el año 2022. Se formuló un nuevo proyecto el que se postuló al concurso FONDECYT de Iniciación 2023.

### Presentación en encuentros científicos

En total se realizaron nueve presentaciones, en formato oral y de póster, durante el desarrollo del proyecto. Los siguientes trabajos fueron presentados en SOCHIFI 2022, del 22 al 24 de noviembre de 2022.

- "Comparación de las dosis de rayos X pulsadas obtenidas con un dispositivo de enfoque de plasma de cien julios y de un kilojulio" | Jalaj Jain, Jose Moreno, Cristian Pavez, Maximiliano Zorondo, Sergio Davis, Biswajit Bora y Leopoldo Soto.
- "Presencia de dispersión en las mediciones de neutrones obtenidas a partir de un dispositivo de foco de plasma de kilojulios" | Jalaj Jain, Jose Moreno, Hernán Loyola, Sergio Davis, Biswajit Bora, Cristian Pavez y Leopoldo Soto.

### Proyecto

- **FONDECYT Postdoctorado 2019, 3190396: Rol de los ARNs no codificantes exosomales en la inducción el daño en el ADN, en respuesta a la radiación | Investigador principal: Rodrigo Andaur.**

El fenómeno de vecindad (Bystander Effect) se describe como el efecto que tienen las células expuestas a radiación sobre las que no han sido irradiadas (células receptoras). Estudios sugieren que este efecto sería mediado por los exosomas, las cuales transportan moléculas que pueden inducir daño en el ADN y muerte celular. Recientemente se ha demostrado la presencia de ARNm y ARNnc en exosomas de células irradiadas, los cuales jugarían un rol importante en la inducción de daño en el ADN. Sin embargo, la identidad de los ARNs no codificantes exosomales, junto con su rol sobre el daño en el ADN en el fenómeno de vecindad, es solo parcialmente comprendido hasta la fecha. Es así como en este proyecto se evalúa el rol de los ARNs no codificantes en exosomas secretados por células expuestas a radiación, para indagar en el mecanismo de daño en el ADN observado en el efecto de vecindad. Como hipótesis se plantea que ARN no codificantes presentes en exosomas provenientes de células HCT-116 expuestas a radiación, inducen daño en el ADN de las células receptoras.

- **FONDEF ID19I10399: "Síntesis de nanopartículas de Li-S-C para dispositivos de almacenamiento de energía de alta densidad mediante el método de expansión de plasma termal supersónico" | Investigador director: Biswajit Bora | Finalizado en junio de 2022.**

Corresponde a un proyecto de I+D+i IDeA, iniciado en 2019 para producir nanopartículas de litio (Li), azufre (S) y carbono (C) para obtener una mayor capacidad de almacenamiento de energía.



El proyecto contó con la colaboración del Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética de la CCHEN. El proyecto se llevó a cabo con participación de la empresa Nanotec.

#### Resultados relevantes

Patente en trámite: “Synthesis of Li-S-C nanoparticles by the supersonic thermal plasma expansion method for energy storage” B. Bora, M. Rios, G. Avaria, J. Urzúa, USPTO Application #63/368,524

## Estructura de núcleos exóticos

Nuestra labor, ciertamente, está en el campo de la ciencia básica. En el campo de la física nuclear, un equipo de investigadores estudia la estructura nuclear de los llamados núcleos exóticos, en un acuerdo con el CERN (European Organization for Nuclear Research) de Europa. Esta iniciativa, que integra nuestro conocimiento de física nuclear con el de equipos de investigación de distintos países, busca aumentar el conocimiento de elementos que, aunque presentes en la naturaleza, no son completamente conocidos por la humanidad.

Esta línea de investigación estudia, mediante experimentos desarrollados en grandes instalaciones, las propiedades fundamentales de núcleos atómicos. Durante el 2022 se publicaron los resultados de experimentos desarrollados en el laboratorio japonés RIKEN, entre los años 2015 y 2018. El Laboratorio RIKEN es actualmente el laboratorio de física nuclear donde se producen los haces secundarios de iones más intensos luego de reacción, por lo tanto, es el lugar ideal para medir núcleos exóticos con buena estadística (lejos de la línea de la estabilidad). Las medidas de propiedades fundamentales de los núcleos se realizan con múltiples sistemas de detección (espectroscopía gamma de alta resolución, detectores de implantación y posición pixelados, detectores de neutrones, etc.) que requieren de recalibraciones y correlaciones temporales de cada evento detectado en un amplio período de tiempo.

De esta manera, en 2022 fueron publicados los resultados experimentales:

- ❖ *Measuring the  $\beta$ -decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region.*

En este artículo se estudian las probabilidades de emisión de neutrones beta retardados de 28 isótopos de Pm, Sm, Eu y Gd, ricos en neutrones, utilizando el arreglo más grande del mundo de detectores contadores proporcionales de  $^3\text{He}$  (BRIKEN), compuesto por 140 detectores en una matriz de polietileno. Se obtuvieron, además, nuevas medidas de tiempos de vida media para estos núcleos. De esta manera, se extienden las bases de datos de estos núcleos relevantes en el proceso de captura neutrónica rápida de astrofísica nuclear (r-process).

The Astrophysical Journal, volume 936, number 2.

❖ *The  $\beta$ -decay of  $^{70}\text{Kr}$  into  $^{70}\text{Br}$ : Restoration of the pseudo-SU (4) symmetry.*

En este artículo se estudia la desintegración beta del núcleo  $^{70}\text{Kr}$ , medido experimentalmente en junio de 2015. Se obtuvo la vida media de este núcleo con una precisión del 0.3% (45.19(14) ms) y se evidencia la emisión de protones beta retardados, con una probabilidad de emisión del 0.545 (23) %. Además, se observaron, por primera vez, en medidas de espectroscopía gamma de alta resolución, 10 estados en  $^{70}\text{Br}$ . Physics Letters B., 830,2022, 137123.

## Proyectos

- **“Estudio y caracterización espectroscópica de fuentes de neutrones pulsadas tales como neutrones de reacciones de fusión en dispositivos plasma focus”.**

En 2022, se dio continuidad a las actividades derivadas del análisis de campañas experimentales del 2020 y del diseño de nuevos sistemas de detección, considerando scattering. Ello incluyó:

- ❖ *Diseño de moderadores de bajo scattering. Se realizaron simulaciones Monte Carlo para diseñar un sistema de detección que minimice la contribución de la componente retrodispersada en medidas de neutrones provenientes de reacciones termonucleares en dispositivos plasma foco, considerando en la simulación una sala experimental altamente reflectiva para neutrones. Este diseño se encuentra simulado y se construirá en el año 2023.*
- **“Caracterización experimental de radiaciones pulsadas y partículas generadas por dispositivos de plasma focus de baja y muy baja energía y estudio de sus efectos en la materia”.**

Los objetivos generales del proyecto, adjudicado en el Fondecyt Regular de 2019, apuntan a dos temas complementarios, pero con distinto impacto. El primero tiene que ver con la caracterización y optimización de una fuente pulsada que emite múltiples radiaciones, rayos X, partículas cargadas y neutrones, como es el dispositivo plasma focus, PF-2kJ. El segundo se relaciona con el estudio del efecto de esas radiaciones, principalmente rayos X y neutrones, sobre materia viva e inerte.

Los logros obtenidos en 2022, en virtud de estos objetivos, son:

- ❖ Parte de los objetivos apunta a la implementación y uso de distintos diagnósticos. Uno de ellos es un espectrómetro de Thomson de campos paralelos (eléctrico y magnético) con una MCP integrada para mediciones en tiempo real de los iones emitidos por el PF-2kJ. Ello requiere la puesta en marcha tanto de un sistema diferencial de alto vacío ( $\sim 10^{-6}$  mbar, en el lado de la MCP, aislado del pulso electromagnético de la descarga principal), como de un sistema de dos pulsos rápidos de alto voltaje (+2kV y -2kV,  $< 1\mu\text{s}$  de tiempo de subida del pulso). En 2022 se alcanzó un vacío de  $10^{-5}$  mbar en la zona de detección para la presión de trabajo en la cámara de descarga, 9mbar. Esto permitió hacer unas primeras pruebas de detección de partículas sin tener problemas de autorruptura en las placas MCP.



- ❖ Adicional a lo anterior, otro de los objetivos es optimizar la emisión de las distintas radiaciones, para su uso en el estudio de materiales. En caso específico de la radiación X, la cual se usó en la irradiación de distintas líneas celulares de cáncer para continuar con el estudio del efecto de esta radiación pulsada en la respuesta biológica de dichos tipos de muestras, se mejoró la tasa de dosis y la dosis por pulso ( $10^{-7}$  Gy/s, y 35mGy por pulso), lo que permitió hacer una mayor cantidad de experimentos en los tiempos apropiados para la manipulación de las líneas celulares, debido al menor número de disparos necesarios para alcanzar la dosis requerida.
- ❖ Otro de los objetivos es estudiar el efecto de rayos X pulsados sobre líneas de cáncer. Se lograron hacer irradiaciones para cinco tipos de líneas cancerígenas, tanto de colon como de vesícula, DLD1, HT-116, MCF-7, G415, GBD1, y una línea de células sanas de colon, CCD-841-con. Cada una fue sometida a distintos números de disparos de pulsos de rayos X, para estudiar diversos procesos biológicos, muerte celular, cambios morfológicos, ciclo celular, sobrevivencia y daño en el DNA. Uno de los resultados más relevantes en este estudio, en vista de los resultados obtenidos a la fecha, es el mayor efecto que se observa en todos los casos cuando se compara con irradiaciones provenientes de fuentes de rayos X continuas o convencionales.
- ❖ También relacionado con los efectos biológicos de la radiación pulsada, continuó el estudio del uso de herramientas biodosimétricas, en este caso, de las Aberraciones Cromosómicas Inestables (ACI) de linfocitos periféricos, para determinar la dosis absorbida por los sistemas biológicos sometidos a este tipo de régimen de radiación. Entre los logros, destaca el hecho de que la radiación X entregada de esta forma, en su interacción con la materia celular utilizada como marcador biodosimétrico, tiene un mayor efecto, incluso comparada con la radiación de alta LET, como las partículas alfa. Ello se alinea a los resultados obtenidos en la irradiación de líneas celulares de cáncer. Los resultados de este estudio se enviaron a publicación en la revista ISI, Journal Applied Physics. Además, este trabajo sirvió como base para una tesis de pregrado de la carrera de Biotecnología en la Universidad Mayor.
- **“Investigación fundamental en descargas plasma focus de baja energía en un régimen altamente eficiente de producción de neutrones” (FONDECYT Regular 2021).**
  - ❖ Caracterización óptica refractiva de la dinámica del plasma en el Generador Multipropósito (GMP), tanto en la fase axial como radial. De los resultados se observa que las estructuras tipo filamentos que se forman en la lámina de plasma, para experimentos de fase axial larga, se mantienen en una porción de la lámina de plasma sin alcanzar la fase axial. Esto podría dar cuenta de la eficiencia de compresión y así la clara aparición de inestabilidades MHD y voltajes inducidos, al igual que una mayor producción de neutrones de fusión. Parte de estos resultados condujeron a un artículo WOS.

- ❖ Evaluación de la emisión de neutrones en el GMP, en régimen de alta producción y el efecto de los neutrones retrodispersados por el entorno en el sistema de detección (medición del ruido neutrónico pulsado de fondo), consistente de detectores de neutrones en base a tubos de  $^3\text{He}$  moderados. Esta evaluación se realiza en dos campañas. La primera utiliza conos de sombra de polietileno de alta densidad y bloque de polietileno en frente de la cara del detector que mira la fuente emisora. La segunda campaña se realizó en el marco de una colaboración con el Investigador Ariel Tarifeño del Instituto de Física Corpuscular de la Universidad de Valencia. Para la evaluación se utiliza un detector de neutrones de respuesta plana en la región de energía de interés (detector de referencia) y un par de detectores que se posicionan en diferentes distancias respecto a la fuente emisora.
- ❖ Se extiende el régimen de alta eficiencia de compresión observado en el generador GMP a los dispositivos PF-50 y PF-400. Ambos funcionando con radios de ánodo menores, respecto al diseño original, fase axial larga y en régimen de alta presión, tanto para H<sub>2</sub> como D<sub>2</sub>.
- **“Mediciones espectroscópicas de efecto Zeeman para caracterizar el campo magnético en una descarga Plasma Focus de baja energía” (FONDECYT Regular 2021).**
  - ❖ A partir de la colaboración establecida con el grupo de Plasmas de la Pontificia Universidad Católica de Chile, se ha podido medir, con la configuración óptica diseñada en CCHEN, el campo magnético presente en una descarga de gas puff. En esta medición se determinó una magnitud de campo magnético aproximado de 17 Tesla, en la capa externa de la columna.
- **“Optimización y modificación de un plasma focus de un kilojoule, radiación pulsada (rayos X, neutrones) y partículas cargadas y sus aplicaciones a materiales orgánicos e inorgánicos” (FONDECYT Postdoctorado 2019).**
  - ❖ En marzo de 2022 concluyó este proyecto, mediante el envío de un informe que fue aprobado.
  - ❖ Como continuación de la investigación, se diseñó una nueva configuración experimental para estudiar la dirección axial de un dispositivo de plasma focus de kilojulios, PF-2kJ.
  - ❖ Se completó la fabricación de las diferentes piezas durante 2022.
  - ❖ Se formuló un nuevo proyecto que se postuló al concurso FONDECYT de Iniciación 2023, que fue adjudicado.

## Espectroscopía de neutrones de rayos cósmicos

### Proyectos

- **“Espectroscopía de neutrones de rayos cósmicos y variables locales”.**

Destaca un proyecto que estudia, monitorea y caracteriza la espectroscopía de fuentes de neutrones de fondo cósmico, gracias a fondos adjudicados en el Fondecyt Regular, bajo el título “Espectroscopía de neutrones de rayos cósmicos y variables locales - Estudios de mediciones simultáneas en todo Chile”.

El trabajo iniciado en 2022 recogerá información a nivel geográfico, para cruzar estos datos con factores locales, como humedad ambiental, humedad de suelo, temperatura ambiental, presión atmosférica, entre otras, contribuyendo a la comprensión del medioambiente. Esta iniciativa busca, a su vez, proponer una corrección a las medidas de los monitores de neutrones NM-64 de la Red Mundial de Monitores de Neutrones.

Para ello se realizarán campañas experimentales que abarcarán, idealmente, 31 puntos de Arica a Magallanes, para aprovechar la diversidad geográfica, geológica y climatológica de Chile. En este contexto, hemos desarrollado las siguientes actividades:

- ❖ Simulaciones de funciones de respuesta del espectrómetro de neutrones extendido a altas energías.  
Se simuló las funciones de respuesta, producto de la detección de neutrones de nuestro espectrómetro, considerando una extensión a altas energías de 10 GeV. A partir de estas simulaciones, se diseñaron y construyeron los moderadores empleando diversos materiales (polietileno, aluminio, cadmio, plomo y grafito).
- ❖ Desarrollo de preamplificadores, sistemas de adquisición y transferencia de datos.  
Gracias a colaboraciones internas, se desarrolló un módulo preamplificador de carga similar a los módulos CANBERRA 2006 y UPC Q01. Se replicaron 10 unidades, de las cuales 8 están operativas. En junio de 2022, se desarrolló, junto al Instituto Milenio de Física Subatómica en la Frontera de las Altas Energías (SAPHIR), la siguiente etapa de diseño, simulación, fabricación y prueba de electrónica de preamplificación, así como los sistemas de adquisición y transmisión de datos. Los módulos serán adecuados al funcionamiento de los monitores de neutrones en condiciones climáticas extremas y lugares remotos (alta montaña, desierto, etc.).
- ❖ Puesta en marcha de la estación meteorológica.  
Se recuperó y puso en marcha la estación meteorológica portátil RAWS de Campbell Scientific de la CCHEN, que cuenta con sensores de temperatura ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento. Se configuraron los sensores y



se obtuvieron los primeros datos. Se adquirió un sensor de humedad de suelo Soil Vue 10 y un GPS, para complementar los datos de variables locales.

❖ **Campañas experimentales.**

En noviembre de 2022 realizamos las dos primeras campañas experimentales: la primera en el campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica de Chile y la segunda, en el campus Valparaíso de la Universidad Técnica Federico Santa María, en el marco del XXIII Simposio Chileno de Física. Ambas contaron con apoyo de un equipo local, que junto al equipo CCHEN, trabajó por turnos, las 24 horas del día, durante 5 días, tomando datos y decisiones técnicas. Se trabaja en el desarrollo de programas de análisis de la primera campaña, para utilizar en las campañas futuras.



## CCHEN MEDIOAMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO

### Monitoreo y gestión del medio ambiente

#### Vigilancia Radiológica Ambiental

Las capacidades de las tecnologías nucleares en el análisis de los materiales y en la identificación de sus características peculiares, permiten abordar el monitoreo del medioambiente, a través, por ejemplo, del seguimiento y la trazabilidad de contaminantes, o de las fuentes de agua de los recursos acuíferos.

La crisis climática impone una labor permanente de monitoreo y análisis de factores que permitan prevenir, reparar y mitigar los efectos que los cambios están generando alrededor del planeta. Aunque urgente, el tema se une a otros desafíos medioambientales que, en suma, priorizan la necesidad de sumar ciencia y tecnología en este ámbito.

El análisis de datos es uno de los aportes sustanciales que la CCHEN hace a la comunidad. Una de las iniciativas que llevamos a cabo en 2022, fue a través de nuestro Laboratorio de Isótopos Ambientales, que participa en la Red Global para el Monitoreo de Precipitaciones (GNIP), establecido con el Organismo Internacional de Energía Atómica y la Organización Meteorológica Mundial. Se determinó el contenido de deuterio y oxígeno 18 en muestras mensuales de lluvias de las estaciones meteorológicas de Chile, ubicadas en Quinta Normal, Santiago, Rapa Nui, La Serena, Puerto Montt y Punta Arenas.

El programa GNIP tiene como principal objetivo recopilar datos isotópicos de precipitación en todo el mundo para uso en estudios hidrogeológicos, en oceanografía y en investigaciones relacionadas con el ciclo del agua, cambio climático y calentamiento global.

Asimismo, aportamos desde nuestro rol en el monitoreo radiológico ambiental, que identifica la presencia de radiactividad en la mayor parte del territorio nacional. Para esta labor, manejamos, por una parte, la Red Nacional de Monitoreo, que cuenta con nueve estaciones ubicadas en Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Santiago, Concepción, Temuco y Puerto Montt y, por otra parte, contamos con la red CCHEN, que consiste en diez estaciones: cinco en cada centro nuclear, en las comunas de Las Condes y Pudahuel, en la Región Metropolitana.

Gracias a estas redes, la unidad especializada procesó más de 50 millones de datos de tasa de exposición para la red nacional y más de 20 millones en la red de nuestros centros nucleares.

## Gestión ambiental

Nuestra área de Gestión Ambiental desarrolla sus tareas operacionales en unidades e instalaciones generadoras de residuos industriales, sean estos tanto de carácter peligroso como no peligroso. En ellas organiza capacitaciones e inducciones tendientes a mejorar la gestión y la manipulación de los residuos, considerando sus emisiones y las necesidades de retiros programados, todo esto con la finalidad de procurar su traslado seguro desde la instalación generadora hasta la bodega de almacenamiento, para su posterior gestión y envío a disposición final.

En 2022, se ejecutaron los retiros correspondientes a residuos industriales peligrosos y no peligrosos de todas las unidades e instalaciones generadoras de la CCHEN, contribuyendo a la disminución de carga peligrosa dentro de las instalaciones, lo que otorga una mayor seguridad y liberación de espacios dentro de las mismas.

Los residuos industriales peligrosos generados en ambos centros nucleares, en 2022, se indican en la siguiente tabla:

Descripción del Residuo	Cantidad (kg)
Residuos Líquidos con pH ácido	115
Residuos Sólidos con pH ácido	95
Hidróxido de Sodio	500
Aceites Usados	900
Líquidos Inflamables	380
Tubos Fluorescentes	130
Pilas y Baterías	220
Tóner	418 unidades
Soluciones químicas varias	850
Envases vacíos contaminados	160
Fármacos	310
Biológicos y cortopunzantes	440

Tabla 2: Residuos industriales peligrosos generados en CCHEN durante el 2022.

Los residuos industriales no peligrosos generados en ambos centros nucleares, durante el año 2022, están compuestos por papeles y cartones, plásticos de diferente origen, vidrios, maderas, metales de diferente origen y escombros.

El año pasado se comenzó a desarrollar y ejecutar un Plan de Reciclaje en el Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre, que incluye materiales de plástico, papel, cartón, aluminio y metales. Por su parte, en el Centro de Estudios Nucleares La Reina comenzaron las primeras instancias informativas para implementar un Plan de Reciclaje.

## Investigación y Desarrollo

Las investigaciones en este ámbito son abordadas principalmente en el Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables (CTNEV), uno de los cinco centros CCHEN-ID. Las temáticas principales que orientan el trabajo son los efectos del cambio climático y su mitigación, el uso eficiente de los recursos naturales, como suelo y agua, en conjunto con el control y aplicación adecuada de fuentes externas como son los fertilizantes y plaguicidas y la evaluación integrada de áreas potencialmente contaminadas su el impacto estimado en la salud pública.

### Comprensión de los Fenómenos Medioambientales

#### Proyectos

- **“Evaluación de los efectos de metales pesados y otros contaminantes en suelos contaminados por actividades de origen antropogénico y natural” | Financiamiento: OIEA- ARCAL | Periodo 2022-2023.**

En noviembre de 2022, se llevó a cabo el primer taller internacional, en Lima, Perú, sobre armonización de protocolo de toma de muestras de suelos y preparación de muestras, en el marco de este proyecto regional, en el que participan 18 países de la región.

Su objetivo es contribuir a mejorar las políticas de manejo del suelo, para lo cual será necesario generar conocimiento e información sobre la caracterización de los impactos ambientales de los metales pesados y otros contaminantes de origen antrópico y natural.

- **“Fuentes y dinámica atmosférica del mercurio gaseoso total y de los metales pesados ligados a partículas en una zona megaindustrial de Chile central” | Financiamiento: FONDECYT Regular de la Universidad de Chile | Investigador principal: Richard Toro, U. de Chile; co-investigadora CCHEN: Adriana Nario.**

El objetivo de este proyecto es cuantificar los niveles de mercurio total gaseoso y metales pesados ligados a partículas en la atmósfera del Complejo Industrial Las Ventanas, con alta resolución espacio-temporal. Cómo impactan en el medioambiente y la salud pública de grandes instalaciones industriales es la contribución de los estudios involucrados.

La principal contribución de la CCHEN en este proyecto es la aplicación de herramientas analíticas nucleares para determinar las contribuciones naturales y/o antrópicas relacionadas a contaminación de mercurio y otros metales y metaloides.

- **“Innovación integral de evaluación/exposición a contaminantes” | Investigador principal: Dante Cáceres, U. de Chile; co-investigadora: Ana Valdés | Financiamiento: FIC Regional Aysén | Periodo: 2022 - 2023.**

En este proyecto de geoquímica ambiental, la labor de la CCHEN se centra en el procesamiento de los datos de los principales resultados obtenidos en el marco de este proyecto, con el fin de elaborar la primera línea base de Coyhaique y sus alrededores. Junto a los datos también obtenidos, recientemente, de material particulado respirable de la misma área de estudio, se espera establecer los niveles de contaminación en esa área y hacer una trazabilidad del origen de los contaminantes.

## Evaluación de Contaminación en Ecosistemas

### Proyectos

- **“Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del impacto radiológico ambiental” | Investigadora CCHEN: Adriana Nario | Financiamiento: OIEA | Periodo: 2022-2025.**

Este Proyecto Coordinado de Investigación (CRP) del OIEA tiene como objetivo contribuir a la mejora de las evaluaciones de impacto ambiental radiológico en regiones áridas y semiáridas en apoyo de una toma de decisiones eficaz y para garantizar la protección del público y el medio ambiente. Existen numerosos estudios del tema en condiciones climáticas templadas, aunque existe menos conocimiento y datos de parámetros para las regiones específicas que analiza la iniciativa.

Fueron seleccionadas dos zonas de muestreo en las regiones de Antofagasta y Coquimbo. Los suelos han sido caracterizados por medio de análisis de textura y parámetros químicos como elementos arsénicos, boro, cadmio, manganeso, zinc, cobre, cromo, plomo, potasio, fósforo, nitrógeno, y materia orgánica, pH y nitrógeno disponible y Capacidad de intercambio Catiónico.

- **“Uso de isótopos estables como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de los radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura” | Investigadora responsable: Adriana Nario | Financiamiento: OIEA | Periodo: 2019-2024.**

Las actividades nucleares generan residuos radiactivos. El monitoreo de los posibles eventos de contaminación requieren ser estudiados y monitoreados. En el marco de este Proyecto Coordinado de Investigación, se analizan prácticas agrícolas para generar información sobre la transferencia de los radioisótopos de cesio y estroncio entre el suelo, el agua, las plantas, los animales y los peces de una localidad. Dichos isótopos son los más propensos a causar problemas en la agricultura. Además, se debe considerar las características de los suelos, el clima entre otros parámetros. En este sentido la diversidad de las características de los suelos y condiciones climáticas de Chile son interesantes como ejemplos de comportamiento de los radionuclidos y medidas de mitigación de sus efectos en los suelos agrícolas.

En el proyecto se ha desarrollado el protocolo de determinación del coeficiente de distribución del Cesio 133 y Estroncio 88 en tres suelos agrícolas de la zona centro-sur de Chile. A la fecha, se





realizan diversos batch de la concentración suelo/elemento para lograr el Kd específico y, con ello, conocer la capacidad del suelo para retener este radionúclido ante una posible liberación del cesio y estroncio adsorbido.

## **Respuesta al Cambio Climático**

El cambio climático ha afectado y continuará afectando al sector agropecuario y por extensión a la vida cotidiana de las personas. Nuestra institución tiene larga experiencia en investigación para las aplicaciones de técnicas nucleares que benefician la gestión de productores e industrias agroalimentarias y forestales.

### **Proyectos**

- **“Mejora en la eficiencia en el uso del agua asociada a estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en la agricultura” | Investigadora CCHEN: Adriana Nario | Financiamiento: OIEA-ARCAL | Periodo: 2018-2022.**

Este proyecto internacional, financiado en el marco del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe, ARCAL, busca aprovechar el conocimiento de los distintos países participantes, a través de una estrategia concordada de trabajo. Las investigaciones ayudarán a comprender los procesos del uso del agua de los cultivos, recursos y necesidades en los países miembro.

En Chile, mediante la aplicación de técnicas isotópicas ( $^{15}\text{N}$  fertilizante) se observó que reemplazar el barbecho de otoño-invierno tradicional en el monocultivo de maíz por un cultivo cubierta (*Lolium multiflorum*) con dosis óptimas de N contribuyó a mejorar la EUN en un 12% y reducir en 50% la lixiviación de N en un sistema agrícola mediterráneo.

El sistema de riego por goteo que representó el 70, 50 y 35% de la evapotranspiración de cultivo en condiciones estándar ( $\text{ET}_c$ ) fue evaluado mediante técnicas isotópicas ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ) para cuantificar la cantidad de agua evaporada y transpirada del suelo y con eso, estimar la fracción de transpiración, que no tuvo diferencias significativas, dando a entender la presencia de otros mecanismos fisiológicos del cultivo que le permiten aprovechar de mejor forma el agua bajo condiciones de estrés hídrico.

También se validó el modelo de AquaCrop para simular las cantidades de agua evaporada y transpirada, no así el rendimiento de maíz bajo suplementos muy bajos de riego, ya que se obtuvieron valores menores a los observados por el modelo de Índice de Balanza de Masas en todos los riegos, sin embargo, la EUA demostró ser mayor en los cultivos con menor dosis de riego.



- **“Innovación para el uso de la Inducción de Mutagénesis para mejorar la tolerancia a la sequía de especies forestales nativas y exóticas frente al cambio climático” | Investigador/a CCHEN: Daniel Villegas y Doris Ly | Financiamiento: FIC Regional Biobío | Periodo: 2022-2023.**

Este proyecto adjudicado por el Instituto Forestal, INFOR, del Ministerio de Agricultura, se orienta a potenciar la sostenibilidad en la silvicultura, utilizando la tecnología de mutagénesis inducida por irradiación gamma en semillas de árboles específicos. En este plano, el hallazgo fundamental es la determinación de la dosis letal para el material orgánico: 50 y 30 para eucalyptus globulus; 294 Gy y 176 Gy, respectivamente. Se realizaron ensayos de germinación con semillas irradiadas, se establecieron semillas irradiadas en invernadero, que hoy están en evaluación y se establecieron plántulas de Eucalyptus irradiadas en terreno con distintas dosis para su evaluación en el tiempo.

- **“Fortalecimiento del uso de técnicas nucleares en programas de mejoramiento vegetal” (CHI 5054) | Investigador/a CCHEN: Daniel Villegas y Doris Ly | Periodo: 2022-2023.**

Proyecto nacional, apoyado por el OIEA, donde participa la CCHEN junto a la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y al Centro de Estudios Avanzados en Fruticultura (CEAF), tiene el objetivo de contribuir a la adopción de materiales vegetales con mejor adaptación a las condiciones ambientales que imperarán en el país producto del cambio climático.

En este marco, se efectuaron dos estudios piloto para evaluar el uso de técnicas nucleares en los programas de propagación y fitomejoramiento de plantas. En el ámbito de la mitigación de los efectos del cambio climático, se aplicó radiación ionizante para generar nuevos genotipos de alto valor ornamental a partir de especies nativas de zonas áridas y semiáridas, que permitirían el desarrollo de cultivos mejor adaptados a la escasez de agua. Se utiliza la *Nolana intonsa*, especie herbácea perenne, originaria de las zonas áridas de Chile.

## CCHEN AGRICULTURA Y ALIMENTOS

### Proyectos

- **“Mejoramiento de las prácticas de fertilización en un cultivo con importancia económica y social en Chile aplicando bioestimulantes bacterianos evaluados mediante el uso de técnicas isotópicas (Nitrógeno 15)” | Financiamiento: OIEA-ARCAL | Periodo: 2019-2022.**

El objetivo de este proyecto es mejorar la productividad de los cultivos mediante la integración de genotipos eficientes en el uso de nutrientes, biofertilizantes y prácticas de manejo para mejorar la seguridad alimentaria. En conjunto con el empleo de alternativas de producción que involucren el uso de genotipos respecto a la eficiencia de uso de fertilizantes, fundamentalmente nitrógeno y fósforo, se busca desarrollar el empleo de biofertilizantes a base de bacterias promotoras del crecimiento como Rhizobium, Azospirillum y micorrizas para contribuir a la seguridad alimentaria y promover una agricultura sustentable.

- **“Dinámica del boro en cerezo como respuesta a tres niveles del elemento en suelo y efecto sobre calcio” (Convenio PUC-CCHEN) | Investigadora CCHEN: Adriana Nario | Periodo: 2019-2022.**

Este proyecto conjunto con la Pontificia Universidad Católica, culminó en 2022, busca encontrar trazabilidad del boro en el cultivo de árboles de cerezo, un fruto de importancia en el sector agroexportador. La información preliminar indicó que el boro aplicado en época de hinchazón de yemas de cerezo fue absorbido y retenido, principalmente, en los tejidos de la fruta y, en menor medida, en las hojas y la madera. Se aplicó un isótopo estable para el análisis en terreno, en la Región del Maule.

- **“Sistema Nacional de Referencia para la Verificación de la Autenticidad y la Determinación del Origen de los Alimentos mediante Técnicas Isotópicas Nucleares” | Investigador CCHEN: Enrique Mejías | Financiamiento: OIEA | Periodo: 2022-2023.**

Esta investigación se ha consolidado generando alianzas con investigadores/as de la Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad de O’Higgins y colaboraciones estratégicas con agrupaciones de apicultores de todo el territorio que han participado en el proyecto y que han permitido proyectar el trabajo a futuro mediante el análisis y caracterización de mieles y otros productos apícolas. El foco principal del trabajo se orienta a instalar capacidades para detectar mieles adulteradas o falsificadas, mediante el uso de técnicas nucleares. Esto último se encuentra en pleno desarrollo gracias al apoyo del OIEA, mediante el financiamiento del proyecto de cooperación técnica que busca implementar capacidades analíticas para la instalación de las técnicas isotópicas que facilitarán la detección del fraude que sufren las mieles chilenas. La iniciativa se lleva a cabo en conjunto con la Agencia Chilena para la Calidad e Inocuidad Alimentaria (ACHIPIA).



En primer término, se realizó una especialización de la técnica de Espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas (IRMS), que consistió en un entrenamiento en técnicas isotópicas para detectar alimentos fraudulentos, enfocado en el estudio de la matriz miel. El trabajo comenzó con una capacitación para el procesamiento adecuado de las muestras a nivel de laboratorio, mediante técnicas de extracción y secado (proteínas de la miel) y de análisis directo de la matriz completa. El trabajo experimental incluyó la preparación de diversas soluciones analíticas para obtener proteínas presentes en la composición de la miel para establecer las razones isotópicas de estos compuestos en las muestras analizadas. Los procedimientos incluyeron el uso de equipos como centrífugas y estufas de secado, entre otros.

La segunda parte del trabajo consistió en un entrenamiento en uso y aplicaciones del equipo IRMS-EA Elementar Isoprime Vision Vario Pyro Cube y del respectivo software. El trabajo experimental permitió conocer las partes del instrumento, manipular y preparar las columnas de combustión y reducción, cargar muestras y activar las condiciones instrumentales para el funcionamiento adecuado del equipo, como establecer los parámetros adecuados para la exploración de fondo, centro de peaks, estabilidad y linealidad.

Finalmente, el trabajo realizado permitió analizar 27 muestras de mieles chilenas.

- **“Fortalecimiento del uso de técnicas nucleares en programas de mejoramiento vegetal” (CHI 5054) | Investigador/a CCHEN: Daniel Villegas y Doris Ly | Financiamiento: OIEA | Periodo 2022-2023.**

Este proyecto del ámbito del cambio climático, tiene también una contribución directa en la industria agroalimentaria. Se empleó la radiación ionizante como agente mutagénico para inducir la variabilidad genética aplicada a las especies de cucurbitáceas. En concreto, se irradió una variedad de calabaza (*Lagenaria sp.*) usada como porta-injerto de sandía en la búsqueda de generar mayor tolerancia a la sequía y así propender a una producción más sostenible.

El proyecto incluyó una beca de especialización en dosimetría y evaluación de radiación en semillas, de 4 meses de duración, en dependencias del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en México. Permitted a la investigadora Doris Ly profundizar en el conocimiento y la práctica de la dosimetría de radiaciones ionizantes y, posteriormente, se trabajó con material vegetal, tanto en semillas como en cultivo in vitro, para su evaluación post irradiación y para la determinación de DL50 y DL30.

## CCHEN LITIO

### Control Regulatorio en el Litio

La CCHEN tiene como función regulatoria el control de ventas del litio, materia en la que el país aprovecha la experiencia y el conocimiento especializado de la Comisión. El objetivo es mantener el control de los actos jurídicos del litio extraído, sus concentrados, derivados y compuestos; a la vez que se generan las capacidades técnicas requeridas para ejercer tal control.

En esta área, nuestra misión es verificar el cumplimiento de las condiciones establecidas en las correspondientes autorizaciones. La CCHEN representa el interés del Estado de Chile por mantener control sobre el litio extraído y sus ventas, contribuyendo a la administración fiscal de un mineral estratégico a nivel mundial, por su aporte a importantes industrias, como la energía y la electromovilidad.

En 2022, y en el marco del Acuerdo N° 1576/1995, nuestro Consejo Directivo autorizó la venta de litio de SQM Salar, con una cuota total de 180.100 toneladas de Litio Metálico Equivalente (LME), en un plazo de hasta 30 años. El 30 de abril de 2022, SQM Salar consumió esa cuota, según los volúmenes de venta anualizados. Por lo tanto, desde el 01 de mayo de 2022, SQM Salar utiliza la cuota autorizada en el Acuerdo de Consejo N° 2287/2018, lo que significa que ese Acuerdo está en plena operación, debiendo la CCHEN ampliar su ámbito de fiscalización, en las condiciones establecidas.

Según lo indicado, la CCHEN, en su Acuerdo N°1576/1995, autorizó a la Sociedad Minera Salar de Atacama S.A. -hoy SQM- la producción y venta de sales de litio del Salar de Atacama, bajo determinadas condiciones. El detalle se presenta a continuación:

Año	Ventas en LME (Ton)	Periodo	Calendario Producción estimado SQM (Ton)
1996	41	1	2.800
1997	1.762	2	2.800
1998	2.421	3	2.800
1999	3.954	4	3.500
2000	4.077	5	3.500
2001	4.184	6	3.500
2002	3.952	7	4.700
2003	4.527	8	4.700
2004	5.492	9	4.700
2005	5.051	10	5.100
2006	5.313	11	5.100
2007	5.460	12	5.100

2008	5.307	13	6.200
2009	3.845	14	6.200
2010	6.147	15	6.200
2011	8.057	16	7.700
2012	8.555	17	7.700
2013	6.559	18	7.700
2014	7.055	19	9.400
2015	6.969	20	9.400
2016	9.649	21	9.400
2017	8.730	22	11.500
2018	8.791	23	11.500
2019	10.238	24	11.500
2020	13.508	25	13.700
2021	21.163	26	13.700
2022	9.296	27	0
<b>Total</b>	<b>180.100</b>		<b>180.100</b>

Tabla 3: Cumplimiento anual de cuota y plazo para la producción para venta de litio.  
Fuente: elaborado por la oficina de Control de Ventas de Litio (diciembre 2022).

### Autorizaciones otorgadas

- Autorizaciones otorgadas por la CCHEN para la venta de litio en 2022:

EMPRESA	CANTIDAD SOLICITUDES	CANTIDAD RESOLUCIONES
<b>SQM SALAR</b>	2296	28
<b>ALBEMARLE</b>	1096	22

Tabla 4: Plataforma Control Venta de Litio, marzo de 2023.

- Consumo de cuota de litio por empresa, año 2022:

EMPRESA	ACUERDO	Año 2022   LME (Ton)
SQM SALAR	1576/1995	9.309,35
	2287/2018	20.951,38
ALBEMARLE	801/1980	9.857,18

Tabla 5: Plataforma Control Venta de Litio, marzo de 2023.

- Consumo de cuotas autorizadas por Acuerdos CCHEN:

El consumo de la cuota de Acuerdo N° 1576/1995 y del Acuerdo N° 2287/2018 de SQM Salar, entre los años 1996 y 2023, ha sido de 201.064,750 toneladas de litio metálico extraído (LME). El detalle por año y producto se muestra en la siguiente tabla:

Año / Producto	LI2CO3	LI2SO4	LIOH	LIS	Total (Ton de LME)
1996	41				40,66
1997	1.762				1.761,88
1998	2.421				2.420,63
1999	3.954				3.953,58
2000	4.077				4.076,97
2001	4.184				4.183,70
2002	3.952				3.952,49
2003	4.527				4.527,05
2004	5.369			123	5.491,63
2005	4.919		38	94	5.050,53
2006	4.711		602		5.313,22
2007	4.579		738	142	5.459,79
2008	4.083		789	434	5.306,51
2009	2.651		587	607	3.845,14
2010	4.726		880	541	6.147,30
2011	6.265		916	877	8.057,34
2012	6.787		864	904	8.555,25
2013	4.898		629	1.032	6.558,76
2014	5.236		744	1.074	7.054,61

2015	5.203		689	1.077	6.969,40
2016	7.311		951	1.386	9.648,55
2017	7.367		1.012	351	8.729,99
2018	7.755		1.016	21	8.791,22
2019	8.882		1.355	0,427	10.237,52
2020	11.826	40	1.642	0,180	13.507,65
2021	18.198	974	1.989	0,697	21.162,78
2022	26.018	1.761	2.481	0,361	30.260,63
<b>Total</b>					<b>201.064,750</b>

Tabla 6: Plataforma Control Venta de Litio, marzo 2023.

El consumo de la cuota del Acuerdo N° 801/1980 y sus modificaciones, de la empresa Albemarle es de 135.506,093 toneladas de litio metálico extraído (LME). A continuación, el detalle por año y producto se muestra en la siguiente tabla:

Año / Producto	LI2CO3	LiCl	LIS	Muestras	Total (Ton de LME)
1984	229				228,68
1985	1.013				1.013,37
1986	822				821,97
1987	1.326				1.325,74
1988	1.770				1.769,68
1989	926				925,74
1990	1.705				1.705,37
1991	1.528				1.528,23
1992	1.931				1.930,61
1993	1.935				1.935,11
1994	1.981				1.980,83
1995	2.459				2.458,96
1996	2.549				2.549,07
1997	2.366				2.365,64
1998	2.195				2.195,05
1999	2.494				2.494,21
2000	2.677				2.677,11
2001	2.488				2.487,63
2002	2.868	13			2.881,83



Año / Producto	LI2CO3	LiCL	LIS	Muestras	Total (Ton de LME)
2003	3.016				3.016,33
2004	3.109	59			3.168,13
2005	3.009	126			3.134,92
2006	2.802	155			2.957,42
2007	3.122	652			3.773,16
2008	3.396	726			4.121,90
2009	1.935	399			2.334,10
2010	2.958	647			3.605,30
2011	3.485	713	357		4.555,12
2012	3.535	741	306		4.581,83
2013	4.095	650	347		5.092,43
2014	4.424	526	354		5.304,40
2015	4.436	369	20		4.825,27
2016	4.854	259			5.112,21
2017	4.820	501		0,010	5.320,55
2018	6.188	669		0,032	6.856,97
2019	6.632	330		0,215	6.961,47
2020	7.521			0,040	7.521,12
2021	8.131				8.131,45
2022	9.856			0,856	9.857,18
<b>Total</b>					<b>135.506,09</b>

Tabla 7: Plataforma Control Venta de Litio, marzo 2023.

### Actividades de la Oficina de Control Ventas de Litio

- Programa de Fortalecimiento Normativo Área Litio

En el marco del Convenio de Desempeño Colectivo (CDC) 2022, entre marzo y diciembre, ejecutamos el Programa de Fortalecimiento Normativo Área Litio, enmarcado en el Plan de fiscalización de las condiciones de autorizaciones otorgadas por la CCHEN y que se complementa con un proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Analítica de la Oficina Asesora de Control de Ventas del Litio a cargo de la tarea, en virtud del ingreso, procesamiento y monitoreo de los datos del proceso de extracción de salmuera y del litio contenido en ella.



- Comité y Normas de Litio

En el marco del Comité Técnico Nacional del Litio, finalizó la revisión de la norma chilena sobre determinación de impurezas en carbonato de litio, y se participó en ISO/TC 333, respecto a la discusión sobre la estandarización de la futura norma de impurezas en carbonato de litio mediante la técnica ICP-OES.

Además, participamos activamente en tres comités, a nivel nacional, sobre estandarización de productos de litio y sus respectivas normas: Carbonato de litio (NCh3735), Hidróxido de litio (NCh3736) y Cloruro de Litio (NCh3737).

Actualmente, está en revisión la norma de "Determinación de impurezas en Hidróxido de Litio".

Sobre las normas internacionales ISO/TC 333, nuestra institución participa como líder de proyecto en dos normas:

- Líder de proyecto del Grupo de Trabajo ISO/WD 11757: Carbonato de Litio - Determinación de impurezas elementales por ICP-OES.
- Líder de proyecto del grupo de trabajo ISO/WD 16423: Hidróxido de litio monohidratado - Determinación de impurezas - Método ICP-OES.

Adicionalmente, participamos como coordinador del Grupo de Trabajo 7: ISO/WD 16398: Cloruro de litio - Determinación de impurezas - Método ICP-OES.

- Mesa de Trabajo Interministerial de Litio y Salares

Participamos en la Mesa de Trabajo Interministerial de Litio y Salares, coordinada por el Ministerio de Minería, en el marco de la implementación del programa de gobierno que busca impulsar una nueva gobernanza de los salares para la gestión del litio. Un equipo CCHEN participó en las reuniones técnicas realizadas entre abril y agosto de 2022, junto a representantes del Ministerio de Minería, Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), Ministerio del Medio Ambiente, Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) y Corporación de Fomento de la Producción (Corfo).



## CCHEN LITIO

### Investigación y Desarrollo

La importancia que el litio tiene en las industrias de tecnología y el crecimiento en la demanda, nos presiona para abordar y resolver la sostenibilidad de los salares, marco de la extracción del litio en Chile. La experiencia de décadas en la temática nos permite, además de contribuir al control, investigar alternativas industriales de diversificación, con un enfoque sostenible.

Dos iniciativas representaron este interés en 2022: por un lado, el proyecto para el desarrollo de un sistema de nanohidrometalurgia magnética para la obtención de salmueras de litio de alta pureza y, por otro, los estudios para crear un sistema de extracción simultánea de magnesio y boro para la obtención de salmueras de litio de alta pureza.

- **“Sistema de extracción simultánea de Magnesio y Boro para la obtención de salmueras de litio de alta pureza” | Investigador principal: Julio Urzúa | Financiamiento: Fondecyt Iniciación 2022 | Duración: 4 años.**

El papel que han adquirido las baterías de litio (LIBS) en los últimos años en la electromovilidad y otras aplicaciones, ha incrementado significativamente la demanda, que se espera continúe creciendo un 8% anual hasta el año 2025. Chile, como poseedor de las mayores reservas de litio a nivel mundial, cerca del 52% del total, tiene la responsabilidad de satisfacer la necesidad mundial de litio; sin embargo, el actual proceso de extracción a partir de salmueras no es lo suficientemente eficiente y sustentable.

Este proyecto propone el diseño de un nuevo extractante que permita extraer en un solo paso y en forma simultánea el magnesio y boro desde las salmueras de litio, a fin de optimizar el proceso de extracción eliminando las etapas de precipitación, recuperando el litio ocluido en las sales precipitadas y obteniendo salmueras de litio de alta pureza.

En 2022 se avanzó con la optimización de la metodología mediante diseño experimental estadístico, simulación de extracción y estudios de *scrubbing*, *stripping* y ciclos de reciclaje de extractante.

- **“Desarrollo de un sistema de nanohidrometalurgia magnética para la obtención de salmueras de litio de alta pureza” | Investigadora principal: María José Inestrosa | Financiamiento: CCHEN (año 2021) | Duración: 4 años.**

Complementario al proyecto anterior, esta iniciativa busca el uso del nuevo extractante obtenido, una vez finalizada la optimización de su uso, esta vez funcionalizando nanopartículas magnéticas como portadoras.



## CCHEN RECURSOS TECNOLÓGICOS

### El Reactor de Fisión Nuclear hoy en Chile

Nuestro país posee un importante grado de autonomía en la operación de su reactor nuclear, al integrar en el proceso la manufactura de las cargas de combustible de uranio y el procesamiento de ese elemento, en nuestra instalación –la Planta Elementos Combustibles– ubicada en el Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre.

Para continuar fortaleciendo la continuidad y la sostenibilidad de esta capacidad nacional, en 2022 recibimos dos misiones de experto internacionales en forma simultánea, ambas financiadas por el OIEA. Una de ellas enfocada en evaluar la operación y el mantenimiento del reactor (OMARR, por su sigla en inglés) y la otra, para efectuar el examen de nuevas posibilidades de utilización del reactor de investigación (IRRUR, por su sigla en inglés).

Así, diez expertos de los principales centros nucleares del mundo analizaron el contexto nacional y las capacidades institucionales, además de los procedimientos de operación y mantenimiento, sus oportunidades de mejoramiento y el potencial de expansión de los usos de la instalación, generando sugerencias y recomendaciones, que permitirán maximizar el valor público generado. Ello conforma nuestra hoja de ruta institucional para los siguientes años.

También bajo la arista de la cooperación, destaca el acuerdo entre el OIEA y la CCHEN, mediante un aporte de ese Organismo suplementado por una inversión del gobierno chileno, que totaliza 1.000.000 de euros, y que significará en los próximos meses y para 2024, la actualización de la instrumentación de control del reactor. Esta iniciativa implica la modernización del sistema de adquisición de datos del reactor, que provienen de los sensores que controlan los distintos sistemas del reactor.

En materia de aplicaciones, en 2022 se puso a prueba la capacidad técnica de la instalación para realizar tomografía con neutrones, utilizando uno de los tubos de haces del reactor. El ejercicio concluyó que es posible obtener imágenes tridimensionales con una calidad que no se podría obtener con otra técnica. Para esta demostración se utilizó un carro de ferromodelismo, el cual se enfrentó a un flujo de neutrones, para luego, mediante una pantalla de centelleo y una cámara debidamente instaladas, obtener una imagen del modelo.

Por otra parte, la Planta Elementos Combustibles desarrolló una modificación a los elementos combustibles que utiliza el reactor RECH-1. Dicha modificación elimina la utilización de soldaduras en el ensamble, mejorando su confiabilidad y seguridad en la operación, además de optimizar su conservación tras su gestión como desecho. Se fabricó el primer prototipo, sin utilizar material fisiónable, con excelentes resultados, por lo que se espera presentar en 2023 la documentación necesaria al organismo competente para su autorización.

## Núcleo de Recursos Tecnológicos Compartidos

### Caracterización

Los materiales especiales son un componente de primer orden en el desarrollo innovador en la industria y sobre los beneficios para la población. En la CCHEN, una de las áreas que más apoya la generación de conocimiento en materiales es la de recursos tecnológicos compartidos, compuesto por cinco especialidades. El Departamento que concentra estas capacidades apoya a los distintos centros de investigación de la CCHEN y asociados, mediante la aplicación de técnicas y conocimientos científicos.

Un resultado tangible en 2022 fueron las 18.991 determinaciones analíticas realizadas, muchas de ellas para el estudio de materiales. El detalle se presenta a continuación:

Laboratorios Departamento Recursos Tecnológicos Compartidos						
	Lab Caracterización Química	Lab Caracterización Física	Lab Caracterización Químico Convencional	Lab Isótopos Ambientales	Lab Análisis Activación Neutrónica	Total
N° órdenes de trabajo	95	6	56	2	7	166
N° muestras ingresadas	608	50	1062	290	214	2224
Total determinaciones	3107	50	14809	580	445	18991

Tabla 8: Determinaciones analíticas realizadas por el Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos en 2022.

### Laboratorio de Isótopos Ambientales

El Laboratorio de Isótopos Ambientales participa en la Red para el Monitoreo de Precipitaciones GNIP (de la sigla en inglés, Global Network for Isotopes Precipitation), establecida con el OIEA y la OMM (Organización Meteorológica Mundial), para la cual se determinó el contenido isotópico de deuterio y oxígeno-18 en muestras mensuales de lluvias de las estaciones meteorológicas de Chile de Quinta Normal Santiago, Rapa Nui, La Serena, Puerto Montt y Punta Arenas.

El objetivo principal de GNIP es recopilar datos isotópicos de precipitaciones en todo el mundo para uso en estudios hidrogeológicos, en oceanografía e investigaciones relacionadas con el ciclo del agua, cambio climático y calentamiento global. También se enviaron los datos de contenido de deuterio y oxígeno-18 en lluvias al Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para los registros del Anuario de Estadísticas Medioambientales.



## **Laboratorios de Activación Neutrónica y de Caracterización Química**

Durante el año 2022, profesionales de los laboratorios de Activación Neutrónica y de Caracterización Química se unieron al proyecto del Acuerdo ARCAL “Evaluación del impacto de los metales pesados y otros contaminantes en suelos contaminados por actividades antropogénicas y de origen natural” (RLA 5089) a escala de captación en la Región de América Latina y el Caribe.

Por otra parte, la participación en programas de intercomparación durante 2022 incluyó tres programas de ensayo de aptitud y dos programas de estudio de intercomparación organizados por el OIEA y otro por Aduanas de Chile.

- Prueba de aptitud para la determinación de radionucleidos y oligoelementos en muestras de sedimentos y trébol (OIEA).
- Determinación de elementos mayores, menores y traza en una muestra de arcilla y en una muestra vegetal (OIEA).
- Determinación de Metales y Alcalinos en Carbonato de Litio (Aduanas de Chile).

## **Laboratorio de Caracterización Física**

Como servicio de análisis externo, el Laboratorio de Caracterización Física realizó 50 determinaciones por tamaño de partícula para diferentes empresas del área farmacéutica.

En 2022, además, avanzamos en la implementación del área de inspección, mediante ensayos no destructivos, con la certificación (nivel 2) de profesionales de la Planta Elementos Combustibles (PEC). Cabe señalar que estas técnicas fueron implementadas para la inspección de las obras civiles del reactor nuclear RECH-1 y así establecer un sistema de vigilancia periódica dentro de su programa de mantenimiento y gestión del envejecimiento.



## **CCHEN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Profesionales de la Planta Elementos Combustibles fueron anfitriones del Seminario “Aplicación de Ensayos No Destructivos en Estructuras Civiles + Inspecciones en Situaciones de Emergencia”, patrocinado por el OIEA, con la participación de un experto internacional en el área. De esta forma, se crean las capacidades, en términos de apoyo a la respuesta y gestión de desastres a nivel nacional.

En el ámbito del reactor nuclear, en 2022 se realizó el estudio y la caracterización espectroscópica de neutrones de haces de reactor, información vital para un aprovechamiento óptimo de la instalación para actividades analíticas.



## CCHEN APOYO A LA INDUSTRIA

Los aportes a sectores de la industria son, algunos de ellos, directos para procesos productivos y otros, de soporte para el funcionamiento de las actividades.

### Irradiación de alimentos

La industria alimentaria cuenta, desde hace casi 45 años, con la Planta de Irradiación Multipropósito, instalación especializada en sanitización y procesamiento de productos, ubicada en nuestro Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre. En la planta, el mayor volumen recibido son productos vegetales elaborados o del mar, como pimentón rojo, ajo en polvo, cebolla polvo, condimentos y langostinos, entre otros.

En 2022, procesamos 395 toneladas de alimentos. En menor medida y provenientes de otras industrias, tratamos productos no alimenticios procesados, como talco, viruta, papel, toallas y bolsas, entre otros, que se benefician de una técnica limpia, que no altera sus propiedades.

En el plano de las técnicas en apoyo de la industria, sin duda, la gestión de residuos y fuentes en desuso es fundamental para un funcionamiento sustentable. Del total del material recibido para gestión, un cuarto proviene de industrias, sólo por debajo de lo que se gestiona con instituciones de salud, las principales usuarias de este tipo de fuentes.

### Análisis de muestras

Las técnicas de análisis radiológico ambiental también contribuyen a los procesos industriales. En 2022, 43 instituciones externas solicitaron 364 análisis de distinto tipo, como análisis en alimentos, aditivos alimenticios y productos como requisito comercial para exportación, realizados por espectrometría gamma de alta resolución; análisis de agua según Norma Chilena por criterios para elementos radiactivos, dirigidos a empresas pesqueras y de alimentos, entre otras; análisis radiológico de productos como combustible alternativo, lodos y chatarra a solicitud de empresas nacionales; y análisis radiológico de frotis, para pruebas de fuga en equipos de gammagrafía industrial y soluciones, correspondientes a test de inmersión de fuentes radiactivas selladas.

- Análisis por espectrometría gamma de alta resolución en alimentos, aditivos alimenticios y productos como requisito comercial para exportación.
- Análisis de agua según NCh - 409/1Of.2005 por criterios para elementos radiactivos (Tipo III) para empresas pesqueras y de alimentos, entre otras.
- Análisis radiológico de diversos productos como combustible alternativo, lodos y chatarra a solicitud de empresas nacionales.
- Análisis radiológico de frotis para pruebas de fuga en equipos de gammagrafía industrial y soluciones, correspondientes a test de inmersión de fuentes radiactivas selladas (braquiterapia).



- Caracterización radiológica a diversas muestras por requerimiento de secciones y laboratorios pertenecientes a la CCHEN.

En 2022, 43 clientes externos solicitaron 364 análisis, detallados en la siguiente tabla:

Análisis Radiológico	Cantidad de Muestras
Norma Chilena para Agua Potable (NCh409/1)	240
Muestras de frotis y test de hermeticidad	8
Caracterización radiológica	18
Certificación	85
Sr-90	13

Tabla 9: Análisis solicitados en 2022.

En los últimos 10 años, la Unidad de Vigilancia Medioambiental ha realizado 6.823 servicios de análisis radiológico a clientes que requieren caracterización radiológica de muestras.

Análisis radiológico	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Norma Chilena para Agua Potable (NCh409/1)	236	271	239	303	305	398	315	202	268	240
Muestras de frotis y test de hermeticidad	70	62	24	62	37	50	22	50	33	8
Caracterización radiológica	41	20	52	31	11	14	1389	982	18	18
Certificación	91	87	38	80	93	108	80	112	84	85
Sr-90	0	4	5	8	25	46	22	25	46	13
<b>Total anual</b>	<b>438</b>	<b>444</b>	<b>358</b>	<b>484</b>	<b>471</b>	<b>616</b>	<b>1828</b>	<b>1371</b>	<b>449</b>	<b>364</b>

Tabla 10: Resumen de análisis solicitados en los últimos 10 años.

## Calibración de equipos de radiaciones ionizantes

La metrología de radiaciones ionizantes también se aplica a la industria, donde empresas de ingeniería usan la detección de radiactividad como parte del manejo de tecnologías nucleares y radiológicas. La principal actividad en este ámbito es la calibración de los equipos, donde el sector industrial requiere la mayor cantidad de prestaciones, con 123 calibraciones de detectores.

## Industria alimentaria

Una investigación dirigida a la industria alimentaria con apoyo del OIEA, busca generar un sistema de referencia nacional de verificación de autenticidad y determinación de origen de alimentos, utilizando técnicas isotópicas nucleares. En 2022 se comenzó con el análisis de 27 muestras de



mieles chilenas, iniciativa que busca expandirse a otros productos clave del sector agroexportador, con apoyo del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) del Ministerio de Agricultura.



## **CCHEN PATRIMONIO CULTURAL**

Un nuevo enfoque en el uso de los conocimientos del equipo institucional, se busca desarrollar procesos e implementar aplicaciones especializadas en análisis de materiales que, en todos los casos, requieren ser preservados, debido a su importancia cultural y/o artística.

En 2022, mediante un convenio de cooperación celebrado entre la CCHEN y el Servicio Nacional de Patrimonio Cultural, se realizaron las siguientes actividades conjuntas: en primer lugar, la evaluación de puestos de trabajo y capacitación en operación de equipo generador de rayos X para la inspección de artefactos culturales, análisis mediante rayos X a la imagen del niño Dios de Sotaquí y posterior revelado de placas radiográficas, exploración con técnica de ensayos no destructivos de termografía en cerámicas de referencia.

Chile ha implementado en años recientes el Centro Subregional de Ensayos No Destructivos, END, que aglutina tecnologías nucleares y radiológicas, capacidades humanas e instalaciones, gracias al financiamiento del OIEA. En 2022 se creó un plan de análisis mediante técnicas de ensayos no destructivos en estructuras civiles y patrimonio cultural, en el contexto de una emergencia por incendio en Rapa Nui, con el objetivo de determinar, de esta forma, el estado interno de las piezas. Este primer paso se replicará a otras obras civiles de interés social y/o cultural.



## CCHEN REGULACIÓN

La mejora progresiva de los procesos de supervisión, control y fiscalización ha sido la motivación fundamental en el ámbito de la regulación durante los últimos años. La CCHEN aplica, en este caso, su conocimiento especializado, para brindar seguridad a la sociedad respecto a las actividades industriales y de servicios que aprovechan la tecnología de radiaciones ionizantes y de fisión nuclear, utilizando fuentes de 1ª categoría.

### Autorizaciones

Al 31 de diciembre de 2022, el universo de instalaciones nucleares, o bien, radiactivas dentro de una instalación nuclear, además de instalaciones radiactivas de 1ª categoría, ascendió a 534, incluidas en 183 autorizaciones.

La distribución de estas instalaciones, por área, se detalla a continuación:

- Industriales: 324, correspondiente a instalaciones de gammagrafía y radiografía industrial, aceleradores de partículas de uso industrial y plantas de irradiación.
- Médicas: 176, correspondiente a instalaciones de teleterapia, braquiterapia (alta y baja tasa de dosis) y laboratorios de alta radiotoxicidad, con fines de medicina nuclear.
- CCHEN y Alta Tecnología: 24, correspondientes a 4 instalaciones nucleares (reactores de investigación y ciclo de combustible), laboratorios de alta radiotoxicidad, con fines de producción de radioisótopos, ciclotrón, entre otras.

Por otra parte, el universo de operadores/as y de oficiales de protección radiológica, a nivel nacional, asciende a 1210 y 187, respectivamente.

### Regulación

El año 2022 tuvo excelentes resultados en cuanto a las principales metas perseguidas en regulación, las que cabe destacar que se lograron en un 100%.

El primer lugar, la meta de regulación, autorización y fiscalización de instalaciones nucleares y radiactivas de 1ª categoría implicó definir un plan de trabajo para tres indicadores clave de esta función, basado en la implementación del modelo de inspección activa; en la implementación del modelo y análisis de seguridad basado en matrices de riesgo en instalaciones nucleares y radiactivas de 1ª categoría; y en la implementación del Centro de Formación de Seguridad Nuclear y Radiológica CCHEN, que busca ser un referente en Chile y en otros países con tecnologías similares, o que aspiran a incorporarla.

Además, se trabajó en la elaboración de cinco propuestas de normas técnicas, definidas en el plan normativo proyectado para el año 2022, esto es:



- Norma de producción y manipulación de radioisótopos
- Norma de inspección de carga
- Norma de requisitos para la gestión de desechos radiactivos
- Norma de coerción en instalación de 1ª categoría
- Criterios de Protección Radiológica

Sobre la función permanente de regulación, se recibieron 541 solicitudes de servicio, principalmente autorizaciones y cierres de instalaciones de 1ª categoría, con el siguiente detalle:

- 19,2% solicitudes de autorización de operación, en su mayoría de tipo radiactiva de 1ª categoría.
- 51,2% solicitudes de autorización especial, en su mayoría aplicables a operadores/as de instalaciones radiactivas de 1ª categoría.
- 22,1% solicitudes de autorización atinentes a actividades de importación, transferencia, transporte y exportación de materiales radiactivos.
- 3,7% solicitudes de cierre de instalaciones radiactivas.
- 3,7% solicitudes de autorización atinentes al cierre de instalaciones radiactivas de 1ª categoría.

En otra línea, se realizaron 229 inspecciones a instalaciones sujetas a control CCHEN, a nivel nacional, donde el 68% fue parte del Plan de Inspección 2022. El resto correspondió a inspecciones asociadas a nuevas solicitudes de servicio y seguimiento a instalaciones, y a inspecciones imprevistas, como denuncias, incidentes operacionales o eventos anómalos.

## Participación internacional

La CCHEN se involucró en el concierto de entidades reguladoras y de protección radiológica a nivel internacional:

- 2ª Reunión del Comité Técnico Ejecutivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) | Abril, 2022 | Santiago-Chile.  
Asociación creada en 1997 para promover la seguridad radiológica, nuclear y física en Iberoamérica, mediante el intercambio de experiencias y de actividades conjuntas que apunten a problemas comunes en la región, y al desarrollo de un programa técnico de trabajo, alineado con el OIEA. Está integrado por organismos reguladores radiológicos y nucleares de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, México, Paraguay, Perú y Uruguay.  
El objetivo de la reunión realizada en Chile fue revisar el avance de los proyectos del programa técnico, como así también los retos, desafíos y actividades contempladas en el plan de acción 2021-2023.
- 25º Aniversario del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) | Julio, 2022 | Madrid-España.  
Previo a los actos de celebración del FORO, se realizó la reunión del Comité Técnico Ejecutivo (17 al 20 de julio) y la XXVIII reunión del Plenario (21 y 22 de julio), donde se revisaron los avances



de los proyectos y las actividades del programa técnico del FORO, las experiencias comparadas y los desafíos regulatorios futuros. El encuentro también incluyó la visita a una instalación de protonterapia del grupo Quironsalud.

- Curso Regional sobre Autorización e Inspección de las Prácticas Industriales desde el punto de vista de la Seguridad Radiológica y la Seguridad Física Nuclear | 6 al 17 de junio | Santiago-Chile. El objetivo fue fortalecer las capacidades de las instituciones en sus actividades vinculadas a examen, evaluación, autorización, inspección y acciones coercitivas de las disposiciones relativas a seguridad radiológica y seguridad física de las fuentes de radiación en instalaciones asociadas a prácticas industriales, según orientaciones del OIEA, y como parte del Proyecto de Desarrollo de Infraestructura Reglamentaria (RIDP, por sus siglas en inglés), mecanismo de asistencia técnica del OIEA que ayuda a los países a establecer o fortalecer su infraestructura reglamentaria para la seguridad radiológica y física de los materiales radiactivos.
- Curso Fuerza de Respuesta Internacional (IRT) organizado por Sandia National Laboratory del Departamento de Energía de Estados Unidos | 6 al 10 de junio | Santiago-Chile. Destinado a instalaciones nucleares y radiactivas relevantes del país, su objetivo fue preparar a las instalaciones y a su personal en la respuesta frente a un incidente relacionado con seguridad nuclear (robo-hurto o sabotaje de materiales nucleares y radiactivos).
- Taller Avanzado de Elaboración de Planes de Seguridad Física del Transporte organizado por Oak Ridge National Laboratory del Departamento de Energía de Estados Unidos | 25 al 28 de julio | Antofagasta-Chile. El objetivo fue preparar a las instalaciones y a su personal en la elaboración de planes de seguridad física del transporte de material radiactivo. Participó personal de instalaciones radiactivas relevantes del norte del país, además de agencias estatales como Carabineros de Chile, PDI, Seremi de Salud, Autoridad Marítima, Ministerio de Transporte, ONEMI y Aduanas de Chile, entre otros.
- Visita delegación International Nuclear Security del Departamento de Energía de Estados Unidos a instalaciones nucleares de la CCHEN | 16 al 19 de agosto. El objetivo fue explorar posibilidades de cooperación a las instalaciones nucleares del país en materias como cultura de seguridad, actualización de medidas de protección física y ciberseguridad, entre otros.
- 12° Congreso Regional de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA), organizado por la Sociedad Chilena de Protección Radiológica (SOCHIPRA) y patrocinado por la CCHEN | Octubre de 2022 | Santiago-Chile. Ante la presencia de los máximos exponentes de Iberoamérica en materia de protección radiológica, el evento abordó una serie de temas agrupados bajo las categorías de protección radiológica, innovación y tecnología, cultura de seguridad, y seguridad, bajo el lema “Protección radiológica: adaptándonos a nuevos escenarios”.



Representantes CCHEN, liderados por nuestro Director Ejecutivo, tuvieron una destacada participación como moderadores/as, expertos/as y secretarías/os técnicas en mesas de trabajo, mesas redondas y pósters electrónicos, donde obtuvimos el 3° lugar, por el póster “Evaluación de la resiliencia de la operación segura de las centrales nucleares, de los reactores nucleares de investigación y de las instalaciones radiactivas de los países miembro del FORO en tiempos de pandemia”, presentado por Patricio Fonseca, quien integró el grupo de especialistas que participó en el proyecto.



## CCHEN SEGURIDAD NUCLEAR Y RADIOLÓGICA

Para atender asuntos relativos a protección radiológica, seguridad nuclear, protección física de materiales e instalaciones nucleares, seguridad física de fuentes radiactivas, salvaguardias, transporte seguro de material radiactivo y seguridad en los ámbitos de acción de la CCHEN, en noviembre de 2021, se creó el Departamento de Seguridad Integrada (DSI).

Su objetivo es garantizar el máximo nivel de seguridad de las instalaciones de la Comisión, durante su ciclo de vida, para resguardar la salud del personal y del público, como así también el del medioambiente.

Esta Unidad depende de la Dirección Ejecutiva y organiza las siguientes temáticas:

### Seguridad Nuclear Integrada y Salvaguardias

Responsable del control, gestión, evaluación y optimización de la seguridad nuclear, física, salvaguardias y no proliferación. De ahí que su quehacer consiste en otorgar soporte técnico a los y las responsables de instalaciones y actividades de la CCHEN en materias de seguridad nuclear y salvaguardias.

- En cumplimiento a los compromisos nacionales en materia de no proliferación de armas nucleares, contraídos mediante el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares y el Tratado de Tlatelolco, en 2022 se preparó y envió al OIEA la siguiente documentación:
  - 7 declaraciones del protocolo adicional del Acuerdo de Salvaguardias.
  - 14 reportes de contabilidad nuclear del Acuerdo de Salvaguardias.
- Se presentó informe nacional de Chile en la 7ª Reunión de Revisión de las Partes Contratantes de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos. Además, se realizaron actividades para la 8ª y 9ª Reunión de Revisión de las Partes Contratantes de la Convención sobre Seguridad Nuclear, destacándose la preparación del 9º informe nacional de Chile y la participación en el proceso de preguntas y respuestas a los informes nacionales.
- En cumplimiento a lo dispuesto en el Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas, se realizaron gestiones para la exportación de fuentes en desuso a Alemania y para la importación de fuentes nuevas de 1ª categoría desde Argentina.
- Se participó activamente en el comité a cargo de preparar el programa de la Conferencia Internacional sobre Seguridad Tecnológica y Seguridad Física Nuclear de las Fuentes Radiactivas: Minimización de Riesgos Radiológicos y Regulación sobre Seguridad Física Nuclear en Chile.





- Durante el Simposio “Salvaguardias Internacionales: Reflexiones del Pasado y Anticipando el Futuro”, la CCHEN, en representación de Chile, expuso un trabajo que analizó buenas prácticas en el proceso de declaración del uranio empobrecido que se incorpora a salvaguardias.
- Se apoyó la evaluación preliminar, en términos de seguridad, del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia (LIDERA), además de las actividades preparatorias para la gestión de materiales que contienen radionucleidos de origen natural, producidos en actividades de investigación del pasado.

## Gestión de la Seguridad

Se enfoca en control, gestión, evaluación y optimización de la gestión.

- Se definieron los procesos necesarios para constituir el Sistema de Gestión de la Sección, desarrollándose el macro proceso “Garantía de la Seguridad”, que considera la interrelación de los procesos estratégicos y de soporte con las partes interesadas de la CCHEN.

Adicionalmente, se definieron cuatro procesos operativos que garantizan la seguridad operacional institucional:

- **Desarrollo de condiciones de seguridad, según normativa, en el diseño, construcción, operación y cierre de instalaciones.**  
Su objetivo es verificar y evidenciar que las instalaciones cumplen o mantienen, durante todo su ciclo de vida, las condiciones de seguridad autorizadas.
- **Desarrollo de condiciones de seguridad, según normativa, en el diseño, construcción, operación y cierre de actividades conexas.**  
Su objetivo es verificar y evidenciar que las actividades conexas, el transporte de material radiactivo y la gestión de desechos radiactivos cumplen o mantienen las condiciones de seguridad autorizadas.
- **Vigilancia y Control de las condiciones autorizadas.**  
Su objetivo es revisar, planificar y realizar actividades para mantener las condiciones autorizadas.
- **Salvaguardias.**  
Su objetivo es prevenir la proliferación de las armas nucleares.

## Seguridad Radiológica Integrada

Responsable del control, gestión, evaluación y optimización de la seguridad y salud en el trabajo, la protección radiológica, la protección y la seguridad física, junto con la vigilancia medioambiental. Se ocupa de organizar y ejecutar sus funciones a través de cuatro unidades, que enmarcan su gestión para cumplir con los compromisos asumidos, dentro del marco presupuestario, y las directrices y prioridades establecidas.



## Protección Radiológica Ocupacional

En esta área se trabaja para lograr un nivel optimizado de protección radiológica en la institución, verificando que la operación de las instalaciones nucleares y radiactivas se efectúe en forma segura, para proteger a las personas, los bienes y el medioambiente, de eventuales riesgos derivados de su uso.

Se supervisa la vigilancia radiológica en instalaciones radiactivas y nucleares de la CCHEN. Asimismo, se efectúa la vigilancia radiológica de los centros nucleares; se atiende emergencias radiológicas internas y externas; se asesora en materias de seguridad y protección radiológica; y se efectúa capacitación, entrenamientos y ejercicios en seguridad radiológica a personal interno y externo, entre otras labores.

En 2022, la Unidad responsable fue designada como contraparte oficial en la Comisión de Seguridad en Emergencias Radiológicas (CONSER), responsable de asesorar y apoyar a la Presidencia de la República en el fortalecimiento de la capacidad de prevención y reacción de las instituciones competentes ante eventos nucleares o radiológicos, de manera de resguardar la seguridad pública, la integridad de las personas y el medioambiente.

### Oficial de Protección Radiológica en Alerta:

El número telefónico 24/7 del Oficial de Protección Radiológica en Alerta recibió 16 llamados, cuatro de ellos para verificar su vigencia; y tres para notificar robo o hurto de densímetros nucleares, que están bajo supervisión del Ministerio de Salud. La mayoría se originó por consultas generales efectuadas por el público.

### Formación de capital humano:

Hasta 2022, la unidad se encargó de organizar y gestionar los Cursos Básicos de Protección Radiológica (CUBEPRO), dirigidos a personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes que se desempeña en salud e industria; a alumnos y alumnas de cátedras de Protección Radiológica de diversas universidades del país; y a personal técnico de 1ª respuesta a emergencias radiológicas, como Bomberos de Chile, Carabineros de Chile, Policía de Investigaciones (PDI), Aduanas de Chile y Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Directemar).

Los cursos de Protección Radiológica se realizaron en forma virtual, mientras que las cátedras para universidades se adaptaron a modalidad híbrida. En 2022, se realizaron cuatro cursos CUBEPRO, donde participaron 126 alumnos y alumnas.

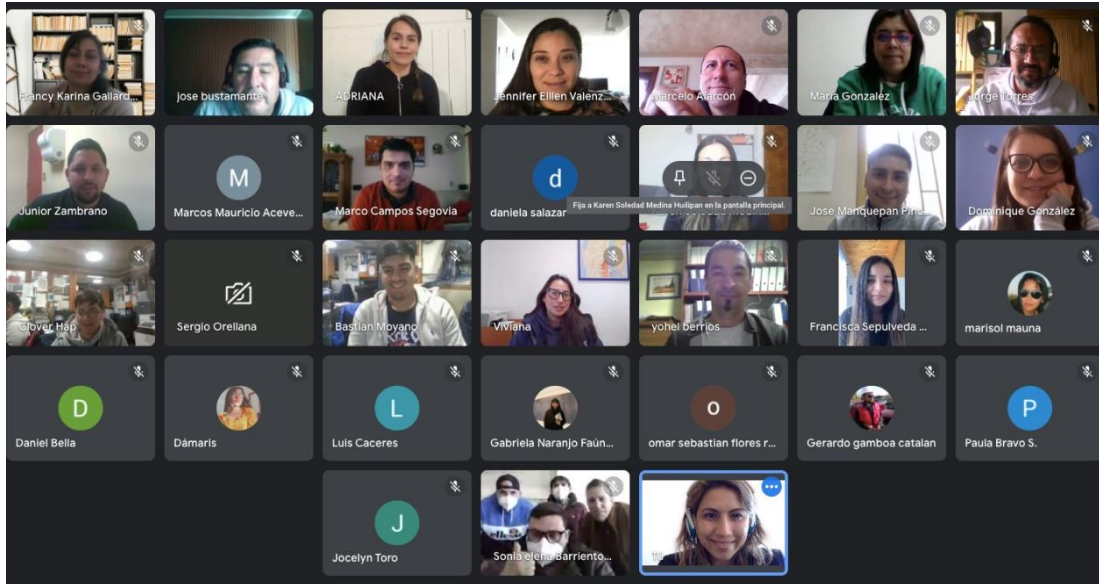


Imagen 3: Personal UPRO durante un Curso de Protección Radiológica (CUBEPRO) virtual.

Se dictaron dos cátedras: una en la Universidad de Chile, entre marzo y agosto, a cargo de María José Yáñez, Ulises Padilla y Walter Velásquez; y la segunda, en la Universidad de Valparaíso, durante el mismo periodo, y a cargo de los mismos profesionales.

### Seguridad Física

Se ocupa de la operación de las centrales de seguridad de los Centros de Estudios Nucleares La Reina y Lo Aguirre, el control de entrada, rondas de vigilancia y monitoreo de accesos e instalaciones.

En mayo de 2022, se recibió la visita de expertos del Laboratorio Nacional de Sandia, quienes verificaron la operatividad de los sistemas de seguridad física instalados, en el marco del proyecto de modernización de los dispositivos de protección física de instalaciones del CEN Lo Aguirre.

### Unidad Vigilancia Medioambiental

Sus funciones son medir y evaluar, en forma periódica, los niveles radiológicos ambientales naturales y artificiales presentes en el país, con especial atención en los sitios de emplazamiento de los reactores de investigación, para estimar la dosis al público y evaluar cualquier riesgo potencial.

### Área de Emergencias

Las actividades de emergencia hoy están radicadas en este Departamento. Su objetivo es preparar y coordinar la respuesta ante emergencias internas o externas a la CCHEN.

En este marco, en diciembre de 2022 se publicó el *Plan por Amenaza Radiológica y Nuclear*, en un trabajo conjunto con el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), el Ministerio de Salud y la CCHEN, en el marco de la Mesa Tripartita Oficina Nacional de Emergencias.

- Atención de emergencias radiológicas en terreno: a continuación, se presentan los eventos notificados directa o indirectamente al Oficial de Protección Radiológica en Alerta o a los/as coordinadores/as de Emergencia, donde se requirió acciones de respuesta de la CCHEN.

Evento	Participante	Fecha Inicio
Supervisión radiológica de objeto extraño caído en Antofagasta	María José Yáñez Pablo Piña Marcelo Mendoza	22 de enero 2022
Participación en la seguridad Física nuclear del transporte de cabezales de Cobalto 60	Ricardo Pereira María José Yáñez	17 – 19 de octubre 2022
Atención a emergencia por aviso de contenedor con material radiactivo proveniente de China.	Ulises Padilla Patricio Guzmán Ciro Cárdenas Ulises Padilla Clarence Cortés María José Yáñez	03 – 09 de noviembre 2022

Tabla 11: Eventos notificados en el año 2022.

## CCHEN Cooperación Técnica y Relaciones Internacionales

- En el marco de la cooperación técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), comenzó a ejecutarse el ciclo de proyectos 2022-2023, a partir de la implementación de los proyectos nacionales aprobados, cuyas temáticas abordan:
  - Contribución a la adopción de materiales vegetales con mejor adaptación a condiciones locales.
  - Seguridad radiológica y nuclear.
  - Seguridad alimentaria.
  - Fortalecimiento de capacidades humanas en ciencias y tecnologías de las aplicaciones.
  - Protección de los ecosistemas marinos y costeros de Chile, mitigando el impacto de la contaminación por microplásticos y toxinas marinas emergentes.

Entre otras instituciones, participan la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), el Centro de Estudios Avanzados en Fruticultura (CEAF), Agencia Chilena para la Calidad e Inocuidad Alimentaria (ACHIPIA) y la Universidad de Chile.

- Sobre la ejecución de los proyectos del ciclo de cooperación técnica 2020-2021, esta se extendió durante el 2022, dado que, con motivo de la pandemia, parte de las actividades contempladas en los planes de trabajo tuvieron que ser ajustadas y reprogramadas.

Estos proyectos abordan:

- Adaptación y productividad de especies forestales ante el cambio climático.
- Diagnóstico de patologías renales en niños y niñas.
- Fortalecimiento de capacidades humanas en ciencias y tecnologías de las aplicaciones.

Entre otras instituciones, participan el Instituto Forestal (INFOR) y la Corporación Renal Infantil Mater.

- Se efectuó la convocatoria de propuestas de proyectos para el ciclo 2024-2025, donde se presentaron 11 iniciativas de carácter nacional. Como resultado, cinco propuestas nacionales pasaron a la etapa de diseño.

En 2022, las contrapartes de los proyectos seleccionados iniciaron la etapa de diseño, por lo que han estado trabajando en su desarrollo, debiendo finalizar en 2023. Los proyectos y los presupuestos asignados serán ratificados y aprobados por la Junta de Gobernadores del OIEA, en diciembre de 2023.



## Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares

En 2022, el Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (TPCE) en Chile continuó un año más de éxito en sus labores de implementación referente al Sistema Internacional de Vigilancia de las siete estaciones, cuyas labores de operación y mantenimiento se desarrollaron de manera normal.

Destaca la importación de equipos donados por las Naciones Unidas y la exportación de equipos para reparación, además del exitoso envío de filtros de las estaciones de radionucleidos y recepción de sus fuentes de calibración. También se han cumplido los compromisos con comunidades locales donde se encuentran las estaciones; como es el caso de Rapa Nui donde la CCHEN realizó un análisis radiológico de sus aguas y alimentos, se capacitó a jóvenes de la zona en temas del Tratado - principalmente en la operación de las estaciones- y se ha dado continuidad a la entrega de los informes semestrales sobre los datos de las estaciones.

En otra línea, de acuerdo a los compromisos asumidos con el Tratado, se ha continuado participando activamente en las reuniones semestrales del Grupo de Trabajo B de la Organización del Tratado de Prohibición de Ensayos Nucleares (TPCE), cuerpo subsidiario dedicado a asuntos técnicos y científicos, además de programas de organización. Participan expertos/as técnicos y de las misiones permanentes de los 183 estados firmantes quienes discuten con la Secretaría Técnica Provisional sobre el progreso realizado en el establecimiento del régimen de verificación los últimos seis meses anteriores. Chile tiene representación activa a través de la participación de Paola García a cargo de este Tratado en CCHEN. Como es usual, se le reitera el urgente llamado a todos aquellos Estados del Anexo 2 que aún no lo han hecho a que ratifiquen el TPCE sin más demora. Su pronta entrada en vigor se hace cada vez más urgente ante la situación internacional.

En el mismo contexto del Tratado, se integra a las Inspecciones In-Situ Christopher Celis para prepararse como inspector. Dichas inspecciones son un componente clave del TPCE, ya que permiten verificar que los Estados parte no están llevando a cabo ensayos nucleares de manera clandestina. Estas inspecciones son realizadas por equipos de inspectores internacionales que tienen acceso a las instalaciones y áreas designadas, donde pueden recolectar datos y muestras para analizar y determinar si ha habido alguna actividad relacionada con ensayos nucleares.

## COMPROMISOS DE SERVICIO PÚBLICO

### Cumplimiento de Metas Institucionales

La CCHEN cumplió exitosamente con todos los indicadores de las metas comprometidas. El convenio de Desempeño Colectivo alcanzó un 99,9% de cumplimiento y el Programa de Mejoramiento de la Gestión, un 100%.

- Resumen Cumplimiento de Metas de Indicadores CDC 2022:

Equipos de trabajo	N° personas	% cumplimiento metas
División Seguridad Nuclear y Radiológica	20	100,0%
División Investigación y Aplicaciones Nucleares	62	100,0%
División Producción y Servicios	72	100,0%
División de Gestión y Desarrollo de Personas	13	100,0%
División Corporativa	96	99,4%
Oficinas Asesoras, y Dirección Ejecutiva	22	100,0%

- Resumen Cumplimiento de Metas de Indicadores PMG 2022:

N°	Marco	Ponderación	Indicador	Meta 2022	Efectivo al 31/dic	% cumplimiento Meta Indicador	Cumplimiento Nota y Requisitos Técnicos
1	Objetivo 1: Gestión Eficaz	30%	% instalaciones radiactivas de 1ª categoría autorizadas respecto a total de instalaciones radioactivas de 1ª categoría	100,0 % 600,00/600,00	100,0 % 524,00/524,00	100,00 %	Sí

2	Objetivo 2: Eficiencia Institucional	10%	Concentración Gasto Subt. 22 + 29	125,00 % 3453627,00/27 62902,00	111,93 % 3165277,00/28 27978,00	111,68 %	Sí
3	Objetivo 2: Eficiencia Institucional	20%	Índice Eficiencia Energética	Mide correctamente	77,19 kWh/m2 2135910,73/27 670,00	MIDE	Sí
4	Objetivo 2: Eficiencia Institucional	10%	Licitación con dos o menos ofertas	63,3 % 57,00/90,00	54,9 % 56,00/102,00	115,30 %	Sí
5	Objetivo 3: Calidad de los servicios	10%	% reclamos respondidos respecto de los reclamos recibidos al año t	100,00 % 5,00/5,00	100,00 % 4,00/4,00	100,00 %	Sí
6	Objetivo 3: Calidad de los servicios	20%	% trámites digitalizados al año t respecto del total de trámites identificados en el Registro Nacional de Trámites vigente en el año t	100,00 % 15,00/15,00	100,00 % 15,00/15,00	100,00 %	Sí

- Resultados Evaluación de la Alta Dirección Pública (ADP), año 2022:

Ejecutivo ADP	Evaluación 2022
Jefatura División Corporativa	100%
Jefatura División Gestión y Desarrollo de Personas	100%
Jefatura División de Investigación y Aplicaciones Nucleares	100%
Jefatura División de Producción y Servicios	61%
Jefatura División de Seguridad Nuclear y Radiológica	100%





## Gestión Presupuestaria y Procesos Afines

En lo que respecta a la ejecución presupuestaria, en 2022 se nos asignó un presupuesto de 12.496 millones de pesos. El aporte institucional al presupuesto fue de 2.247 millones de pesos, por concepto de ventas de productos y servicios, siendo otras fuentes de financiamiento las rentas de la propiedad por un monto de 393 millones de pesos, otros ingresos corrientes por un monto de 478 millones de pesos y un aporte fiscal de 9.501 millones de pesos.

Cabe señalar que nuestro presupuesto institucional se complementa con otros fondos provenientes de fuentes de financiamiento de cooperación internacional. La ejecución del gasto alcanzó el 98,5%.

Por último, reportamos que los ingresos de operación al cierre contable 2022, totalizaron un monto de \$1.990 millones, que equivalen a un 106% de la meta establecida para el 2022.

- Se ejecutó el 100% del presupuesto asignado al subtítulo 22 de Bienes y Servicios de Consumo (\$ 2.713.826.998).
- Se ejecutó el 95% del presupuesto asignado al subtítulo 29 de Adquisición de Activos No Financieros (\$ 119.581.000).
- Se elaboró y aprobó el nuevo procedimiento sobre Gestión de Cuentas Corrientes y Conciliación Bancaria.

## Gestión de la Infraestructura

### Tecnologías de la Información y Comunicaciones

- Se obtuvo un 100% de cumplimiento en el indicador de trámites digitalizados y comprometidos ante el Ministerio Secretaría General de la Presidencia (SEGPRES). Esto corresponde a 15 trámites digitalizados.
- Se ejecutaron 11 desarrollos informáticos para diversas unidades de la institución. Algunos de estos proyectos tuvieron relación con sistemas para la División de Gestión y Desarrollo de Personas, aplicaciones y módulos informáticos destinados a dosimetría, mejoras en el sistema de bodega y la gestión de activos técnicos, por nombrar solo algunos.
- Se monitorearon, constantemente, todas las plataformas que opera la CCHEN, para garantizar su seguridad, de modo que quienes se acogen a la modalidad de trabajo remoto no generen brechas de seguridad que permitan accesos indebidos. En 2022 se trabajó en un plan para disminuir los horarios de conexión de los colaboradores y colaboradoras, para acortar las brechas de seguridad fuera de horario laboral, debido a estas conexiones remotas.
- Se participó en el diseño de topología de red, durante la remodelación del nuevo Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia (LIDERA), en el marco de lo cual se habilitaron dispositivos de red.

## Ingeniería y Mantenimiento

- Se realizó la mantención preventiva y correctiva del equipamiento electrónico y electromecánico del reactor RECH-1, de los laboratorios de Producción de Radioisótopos y Radiofármacos, de Irradiadores, Ciclotrón, Dosimetría, Planta Elementos Combustibles, Planta de Irradiación Multipropósito, entre otros.
- Se colaboró, mediante apoyo electrónico, en la reparación del sistema de control del Ciclotrón.
- Se ejecutó la reparación de módulos de fuentes termostatos del reactor RECH-1.
- Se colaboró con las especificaciones eléctricas y durante las etapas de construcción del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia (LIDERA).
- Se colaboró en la ejecución de una nueva matriz de distribución subterránea de agua potable para las instalaciones del Centro de Estudios Nucleares La Reina.
- Se colaboró en la mantención operativa del sistema de captación y distribución de agua del Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre.
- Se provisionó y acondicionó un contenedor tipo bodega para el Laboratorio de Plasmas y Fusión Nuclear.
- Se instaló malla concertina en todo el perímetro que circunda al Almacén de Desechos Radiactivos, ubicado en el Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre.
- Se remodelaron los baños y vestidores del Laboratorio de Radioquímica del Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre, en cumplimiento a la normativa del Instituto de Salud Pública de Chile.
- Se ejecutaron las obras para acondicionar el Laboratorio LIDERA.
- Se ejecutaron obras en la Biblioteca del Centro de Estudios Nucleares La Reina, donde se instalaron barandas de cristal y se instaló piso de porcelanato en el área de exposiciones.

## Gestión de la Investigación

En relación con algunos de nuestros compromisos vinculados a las principales actividades de investigación y desarrollo, como así también sobre los proyectos y las publicaciones asociadas a ellos, hubo tres nuevos proyectos adjudicados en concursos de ANID, que se sumaron a los 36 en ejecución, 21 más que en 2021.

Tres de estas iniciativas fueron lideradas en el Centro de Investigación para la Salud y Biomedicina, trece en el marco de acción del Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables; diez en el Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética; siete impulsados en el Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasma, Materia y Complejidad; y cuatro en el de Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones. Ver detalle en anexo 1.

En materia de publicaciones científicas, que constituyen uno de los principales valores de difusión de los resultados, se lograron 15 artículos aceptados en revistas ISI y/o con comité editorial, en los cuartiles Q1 y Q2, dos menos que en 2021, aun cuando se logró la meta planteada.



Dieciocho investigadores e investigadoras de la CCHEN participaron en estas publicaciones, que se difundieron en revistas de agronomía, física de la computación, física aplicada y fundamental, líquidos moleculares, insecticidas, materiales para electrónica, agricultura y recursos naturales, tecnología química y metalurgia, física nuclear y de partículas, ciencias del suelo, geología y geomorfología, ciencias de la tierra, astrofísica, aerosoles y calidad del aire, mecánica estadística, física de plasmas y fusión e ingeniería óptica y de láseres. Ver detalle en anexo 2.

### **Bibliotecas CCHEN**

- En cuanto a material bibliográfico, se ingresaron 56 libros, 62 informes y 4 números de publicaciones periódicas.
- En 2022, se mantuvo el convenio de colaboración con el Consorcio para el Acceso a la Información Científica Electrónica (CINCEL), con el fin de participar en el programa BEIC (Biblioteca Electrónica de Información Científica), que permite a los y las profesionales de la CCHEN tener acceso gratuito a cerca de 5.000 títulos de revistas científicas editadas por las principales editoriales internacionales. En 2022, se revalidaron 83 cuentas de nuestros usuarios.
- Algunos de los principales servicios ofrecidos por las Bibliotecas CCHEN en 2022 fueron:
  - Se atendieron 1796 solicitudes de información de usuarios internos y externos, nacionales e internacionales.
  - Se efectuaron 1691 préstamos de material bibliográfico.
  - Se respondieron 103 solicitudes de ubicación de referencias.
  - Se realizaron 25 búsquedas bibliográficas en bases de datos INIS.
  - Los países de la región atendieron 56 solicitudes de referencia de Chile. En ocasiones la respuesta, vía electrónica, fue inferior a 24 horas.
  - Las bibliotecas CCHEN atendieron 13 solicitudes de la región (uno de Brasil, seis de México, cuatro de Costa Rica, uno de Argentina y uno de Venezuela).
  - Chile aportó 24 registros de información a la base de datos del INIS (International Nuclear Information Systems), con sede en Viena, Austria, correspondiendo a temas de relevancia en el ámbito nuclear, escritos por chilenos o extranjeros en Chile, destacándose lo publicado en revistas como Alasbimn Journal, revistas del área salud, ingeniería y tecnología y memorias efectuadas en la CCHEN.
  - Las bibliotecas, como parte del Sistema Integral de Atención Ciudadana (SIAC) institucional, recibieron un total de 1796 solicitudes.



## Compromisos institucionales

### Gestión integrada institucional

- Trabajamos en el desarrollo de una nueva Biblioteca de Gestión de la información documentada del Sistema de Gestión Institucional (SGI) que incluye criterios de búsqueda y acceso a los formularios CCHEN y anexos de cada documento.
- Revisión y gestión de aprobación de la siguiente información documentada del SGI:
  - Nuevo Procedimiento de Calidad CCHEN “Gestión de Cuentas Corrientes”.
  - Actualización Procedimiento de Calidad CCHEN “Proceso de Auditoría y Control Interno”.
  - Actualización Procedimiento de Calidad CCHEN “Control de Información Documentada”.
- Desarrollo de un proceso de Levantamiento y Evaluación de los Cumplimientos Legales Ambientales y Sanitarios de los centros de estudios nucleares La Reina y Lo Aguirre.
- Se apoyó la postulación del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes a su acreditación ante DAkKS (Deutsche Akkreditierungsstelle), lo que implicó elaborar y/o actualizar documentación del Sistema de Gestión para la técnica "Dosis Absorbida en Agua", junto al Manual, la Política y la documentación requerida por ISO/IEC 17025:2017.

### Eficiencia energética

Sobre el indicador relacionado con el índice de eficiencia energética, que mide el consumo de energía del período en evaluación, respecto del total de superficie en metros cuadrados disponibles, el resultado obtenido en 2022 fue 77,31kWh/m<sup>2</sup>. Ello implicó mantener una rebaja de 5,15kWh por metro cuadrado, en relación con el mismo periodo de 2021.

### Auditoría y Control Interno

Junto con llevar a cabo las actividades contempladas en el Plan Anual de Auditoría Interna, destacan las siguientes actividades:

- Somos parte de las instituciones piloto del Sistema de Auditoría Interna de la Contraloría General de la República, que consiste en un Gestor Documental que permite registrar y monitorear el desarrollo de las auditorías.
- A partir del Reporte Trimestral del período octubre-diciembre de 2021, se incorporó el uso de la plataforma SER (Sistema de Envío de Reportes), provisto por el Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno (CAIGG), que facilita la tramitación, consolidación y despacho de los reportes trimestrales sobre materias de probidad y austeridad en el uso de los recursos públicos, requeridos por el Instructivo Presidencial N°002/2019.



- En 2022, postulamos ante el CAIGG para ser parte del proyecto de implementación del Programa de Aseguramiento para Mejora Continua del área de Auditoría Interna (PAMC). Esta postulación fue aceptada para implementarse en 2023. En ese marco, un funcionario y una funcionaria de la Oficina Asesora de Auditoría y Control Interno CCHEN obtuvieron una beca para participar en el Diplomado de Ciberseguridad para Auditores Internos, que será dictado por la Universidad de Santiago de Chile, en convenio con el CAIGG.
- Anticipándonos a los nuevos requerimientos para las áreas de auditoría interna del sector público, en 2022, y en el marco de las metas asociadas al CDC institucional, se actualizó la documentación base para una auditoría moderna. Ello consideró:
  - Resolución N° 1006/2022, de fecha 22/11/2022, que actualizó la creación de la Oficina Asesora de Auditoría y Control Interno.
  - Resolución N° 120/2022, de fecha 29/11/2022, que actualizó el Estatuto de la Oficina de Auditoría y Control Interno.
  - Resolución N° 121/2022, de fecha 29/11/2022, que actualizó el Procedimiento del Proceso de Auditoría y Control Interno, en el marco del Sistema de Gestión de Calidad CCHEN.
- Cumplimiento de los Objetivos Gubernamentales de Auditoría Interna:
  - Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 1: actividades asociadas a Probidad Administrativa.  
Aseguramiento trimestral julio-septiembre de 2022 (octubre de 2022). Un hallazgo.
  - Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 2: evaluación de los Sistemas de Control Interno, ponderando observaciones y recomendaciones de la Contraloría General de la República. Elaboración de diagnóstico para incorporar en el Plan Anual de Auditoría Interna 2023, basado en el Marco Integrado de Control Interno COSO III, versión 2013 (noviembre de 2022). No aplica hallazgos.
  - Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 3: acciones de mantenimiento y mejoramiento de las actividades asociadas al Proceso de Gestión de Riesgos.  
Elaboración de diagnóstico para incorporar en el Plan Anual de Auditoría Interna 2023 (noviembre de 2022). No aplica hallazgos.
  - Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 4: elaboración de Diagnóstico para incorporar en el Plan Anual de Auditoría Interna 2023 de los hallazgos críticos y recurrentes (noviembre de 2022).  
No aplica hallazgos
  - Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 5: realización de actividades asociadas a requerimientos del Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno.



Primera Auditoría de Aseguramiento sobre Cumplimiento de Obligaciones del artículo 2° quáter de la Ley N° 21.131 en el Sector Público (Ley de Pronto Pago) (febrero de 2022). Dos hallazgos.

- Cumplimiento de los Objetivos Ministeriales de Auditoría Interna:
  - “Aseguramiento al Proceso de Administración, Control y Custodia de Garantías” (agosto de 2022). Tres hallazgos.
- Cumplimiento de los Objetivos Institucionales de Auditoría Interna:  
En el marco del Plan Anual de Auditoría Interna 2022, la autoridad del servicio estableció los siguientes objetivos:
  - Auditoría de aseguramiento al Proceso de Conciliaciones Bancarias. Siete hallazgos.
  - Auditoría de aseguramiento al Proceso de Remuneraciones. Un hallazgo.

Cabe mencionar que, en virtud de las condiciones de trabajo derivadas de la pandemia, las acciones de subsanación establecidas en el plan de acción de las distintas áreas auditadas, fueron levantadas o ajustadas para ser implementadas y monitoreadas en 2023. Ello, junto a la ejecución de las actividades de Aseguramiento de los Objetivos Gubernamentales y Ministeriales de Auditoría, permitió el cumplimiento del 100% de las acciones programadas.

- Cumplimiento de actividades rutinarias y de seguimiento asignadas al rol de Auditoría Interna:
  - Seguimiento de compromisos pendientes de auditoría al proceso de compras 2021.
  - Seguimiento de compromisos pendientes de auditoría al control interno institucional 2021.
- Seguimiento de compromisos pendientes de auditoría al proceso de materias Financiero – Contables de 2021.
- Actualización del Plan Estratégico de la Unidad de Auditoría.
- Verificación del cumplimiento de los Convenios de Desempeño Colectivo 2021, previo a su verificación por parte de Auditoría Ministerial.
- Revisión, análisis y consolidación de la información necesaria para que la autoridad institucional suscriba la Certificación en Origen, que cada año debe presentar ante el Ministro de Energía.
- Reporte al Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno sobre avances en la ejecución del Plan Anual de Auditoría.
- Reporte semanal para el Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno, sobre Quiebres de Control Institucional e Informes de Contraloría General de la República.
- Revisión y Certificación de los estados financieros del servicio de Bienestar de la CCHEN.



## Iniciativas de Género

Como un paso importante a destacar respecto de nuestro compromiso con la inclusión de la mujer en el ámbito de la ciencia y tecnología, está la constitución de la Mesa Interna de Género CCHEN.

Esta instancia institucional de trabajo se propone avanzar en dotar nuestro quehacer de una perspectiva de género, mediante un proceso que recogerá las diversas visiones, intereses, entre otras, que tienen las personas en este ámbito, además de fomentar en funcionarios y funcionarias la adquisición de conocimientos en el tema para incorporarlo en el comportamiento diario.

## Vinculación con el Medio y Comunicaciones

En general, el plan de vinculación en I+D se ha trabajado en forma alineada al Modelo de Vinculación Institucional planteado por la Oficina de Comunicación Corporativa, que busca implementar un modelo de trabajo que permita relacionar el potencial institucional con los desafíos del entorno. En particular, en el área de I+D, se ha trabajado con los centros de investigación para impulsar y apoyar la colaboración con instituciones identificadas como relevantes para los objetivos de la Comisión.

Algunos de los principales convenios firmados con instituciones y universidades, a nivel nacional, se describen a continuación:

Fecha	Institución	Objeto del convenio
06/ene	Universidad Católica del Norte	La CCHEN pone a disposición de la UCN muestras de salmueras y productos de litio, para utilizar con fines académicos y de investigación, y con el propósito de implementar metodologías analíticas dispuestas en las normas chilenas de salmueras de litio ya publicadas, como también para desarrollar nuevas metodologías para caracterizar los productos de litio y determinar sus impurezas.
01/feb	Universidad Austral de Chile	Transferencia a la CCHEN de explantes in vitro de variedades de papa nativa, para utilizarse sólo en proyecto de investigación en mutagénesis radioinducida.
01/abr	Instituto Forestal	Realizar proyecto "Innovación para el uso de la inducción de mutagénesis para mejorar la tolerancia a la sequía de especies forestales nativas y exóticas frente al cambio climático".
26/may	Universidad Católica de Valparaíso - Instituto de Historia	Iniciativas que propicien conocimiento y difusión de la historia del desarrollo científico-tecnológico en el país en los dominios pertinentes.

30/may	Servicio Nacional de Patrimonio Cultural - Centro Nacional de Conservación y Restauración	Diseñar, ejecutar y evaluar programas, proyectos y acciones para colaboración, prácticas profesionales, perfeccionamiento profesional, asesorías especializadas, cooperación técnica, investigación fundamental y/o aplicada u otras que las partes acuerden.
06/sept	Instituto Milenio Saphir	Apoyarse mutuamente, a nivel nacional e internacional, en la generación de conocimiento en física nuclear y física de partículas, y en el estudio y comprensión de la estructura nuclear.
12/sept	Universidad de Concepción - Facultad de Ciencias Químicas	Diseñar, ejecutar y evaluar programas, proyectos y acciones para colaborar en el desarrollo de técnicas de medición; desarrollo de materiales de interés, como blindaje contra la radiación ionizantes; formación de capital humano avanzado, investigación fundamental relacionadas con propiedades de materiales y origen de radiaciones.
02/nov	Universidad de Valparaíso - Centro de Investigaciones Biomédicas de la Escuela de Medicina	Apoyo mutuo en potenciar el desarrollo científico y tecnológico conjunto para el desarrollo y estudio de matrices biocompatibles y/o tejidos con aplicabilidad terapéutica para medicina regenerativa e ingeniería de tisular.
14/dic	Nanotec S.A.	Apoyo mutuo en la generación de conocimiento y tecnologías en el ámbito de la nanotecnología.
23/dic	Universidad Católica de Temuco	Interés en planificar, ejecutar y evaluar conjuntamente actividades en docencia, investigación, extensión y vínculo.
27/dic	Universidad Adolfo Ibáñez	Diseñar, ejecutar y evaluar programas, proyectos y acciones para colaboración, prácticas profesionales, perfeccionamiento profesional, asesorías especializadas, cooperación técnica, investigación fundamental y/o aplicada, u otras que se acuerden.



CONTRAPARTE DEL CONVENIO	Nº RESOLUCIÓN	DESCRIPCIÓN
Universidad Bernardo O'Higgins	005/2022	Diseñar, ejecutar y evaluar programas, proyectos y acciones tendientes a la colaboración, prácticas profesionales, perfeccionamiento profesional, asesorías especializadas, cooperación técnica, investigación fundamental y/o aplicada u otras que las partes acuerden expresamente dentro del ámbito de sus lineamientos estratégicos.
Universidad de Magallanes	010/2022	Operación y mantención del equipo auxiliar generador eléctrico, de la caseta de las instalaciones asociadas a la estación de medición de radionúclidos, ubicado en el campo de estudios, permitiendo el ingreso del alumnado de la UMAG para fines académicos y de enseñanza.
Corporación Educacional ASIMET	034/2022	Efectuar práctica profesional de alumnos y alumnas.
Instituto Nacional de Normalización	064/2022	Convenio de desempeño y transferencia de recursos. Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) – Laboratorio designado – Radiaciones Ionizantes e INN.

### Actividades de vinculación externa

Además de los convenios descritos en el cuadro anterior, destacan las siguientes colaboraciones:

- Universidad Shanghai Jiao Tong**  
A partir de la publicación de la tesis doctoral del Dr. Jaime Romero y posterior artículo "Calculation of kinetic parameters  $\beta_{eff}$  and  $\Lambda$  with modified open source Monte Carlo code OpenMC(TD)", el Centro de Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones (CEFNE) fue contactado por el profesor Hui Guo de la Universidad Jiao Tong de Shanghai (China), para obtener el código OpenMC(TD). Esto derivó en la firma de un acuerdo de transferencia de materiales.
- Tesis de Naima Somoza, Doctorado en Energía de la Universidad de Concepción**  
Colaboración en el "Estudio de selección de sitios potenciales para el emplazamiento de una central nuclear en el territorio chileno", por interés del CEFNE sobre la posibilidad de diversificar la matriz energética chilena, principalmente, con nuevas tecnologías nucleares como los reactores modulares de sales fundidas que utilizan  $^{232}\text{Th}$  como combustible, dado que sus cálculos transientes requieren de códigos Monte Carlo como los desarrollados por el Centro.
- Participación en Comisión de defensa de Tesis de Magíster en Tecnología Nuclear de la Universidad Tecnológica Metropolitana**  
El 2 de noviembre de 2022, el Dr. Jaime Romero participó como evaluador externo en la Comisión Examinadora de Defensa de Grado del alumno de magíster Leonardo Segura, quien



defendió su trabajo titulado “Método empírico para estimación del factor de transmisión “b” y espesor de barrera, mediante espectrometría gamma y fuentes radiactivas de baja actividad”.

- **Participación en Comisión de defensa de Tesis de Doctorado en Ciencias Físicas Universidad Nacional Andrés Bello**

El 28 de enero de 2022, el Dr. Francisco Molina participó como evaluador externo de la defensa de tesis doctoral del Sr. Felipe Moreno, titulada “Desarrollo e implementación de métodos de cómputo para densidades de estados usando ensamblajes generalizados”.

- **Participación en Comité Científico de la XXIII SOCHIFI**

Durante el primer semestre de 2022, el Dr. Francisco Molina fue invitado a ser parte del comité científico del XXIII Simposio Chileno de Física, en el marco de lo cual participó en reuniones de coordinación y en la evaluación de los trabajos presentados.

- **Participación en el Claustro Académico del Programa de Doctorado en Ciencias Físicas de la Universidad Andrés Bello**

El Dr. Francisco Molina es miembro, desde 2018, del Claustro Académico del Programa de Doctorado en Ciencias Físicas de la UNAB. En 2022 participó en la evaluación de los y las postulantes al programa de doctorado, año 2023.

- **Curso de Electricidad y Magnetismo**

En el primer semestre de 2022, el Dr. Jaime Romero dictó el curso “Física 2: Electricidad y Magnetismo”, del Programa Académico de Bachillerato de la Universidad de Chile.

## Eventos nacionales e internacionales

- **VII Cumbre INOFOOD 2022**

Participamos con un stand informativo en la feria INOFOOD, con el fin de generar potenciales contactos con la industria, explorar posibilidades de colaboración y mantenernos al día en la industria alimentaria.

La CCHEN se hizo parte del evento, que tiene lugar cada dos años, con el objetivo de visibilizar su contribución de valor público relacionada a este ámbito y, además, generar espacios de vinculación con los distintos representantes de la industria, con miras a continuar fortaleciendo su portafolio de proyectos y servicios relacionados con inocuidad alimentaria, calidad de los alimentos, mejora de variedades vegetales y sustentabilidad agrícola.

- **Actividades WIN (Women in Nuclear)**

Impulsamos la participación y visibilización de mujeres profesionales de las ciencias en la red internacional WIN (Women in Nuclear), a través de la implementación de la respectiva instancia nacional de la misma WIN-Chile. Algunas de las actividades realizadas incluyen:

- Participación en la reunión regional de Women in Nuclear (WiN) ARCAL, en el marco del Congreso Regional IRPAS (Asociación Internacional de Protección Radiológica). Se desarrolló un plan de trabajo a abordar en el marco de esta red colaborativa.
- Se dictó charla “Energía Nuclear y el rol de la mujer”, organizada por Fundación Mujer y Energía de Panamá.

- **Pasantía de Médicos Nucleares**

En el marco de las actividades propias del Centro de Transferencia del Conocimiento, se organizó la Pasantía de Médicos Nucleares, concebida como una actividad de formación y vinculación, con el propósito de aportar al desarrollo de la medicina nuclear y reforzar la colaboración entre la comunidad médica y la CCHEN.

Entre el 26 de septiembre y 12 de octubre, un grupo de médicos nucleares de la Universidad de Chile y de la Pontificia Universidad Católica de Chile, concentraron actividades prácticas y teóricas, en dependencias de la Comisión Chilena de Energía Nuclear. Al término de la pasantía, los médicos recibieron certificados y diplomas de participación.

- **9ª Conferencia Internacional en Litio, Minerales Industriales y Energía | Santiago, Chile | 12 al 14 de diciembre de 2022**

Poster "Recovery of Rare Earth Elements from Mining Solid Waste, Critical Elements for the Energy Industry". Autor principal: Peter Fleming Rubio; Otros Autores: Pedro Orrego, Vicente Peñaloza, Jaime Huentrutripay, Jordan Salazar.

- **Simposio del Litio (FIC-R) | Antofagasta, Chile | 3 y 4 de diciembre de 2022**

Charla “En búsqueda de la purificación eficiente y sostenible de salmueras de litio, proyecciones e investigación desde el sector público”. Autor: Julio I. Urzúa.

- **European Advanced Materials Congress 2022 | Génova, Italia | 25 de junio al 2 de julio de 2022**

Póster “Mixtures of ionic liquids, potential solar energy storage materials”. Julio I. Urzúa – María José Inestrosa.

- **13th Edition of International Conference on Catalysis, Chemical Engineering and Technology | Boston, EE.UU. | 21 - 22 de octubre de 2022**

Presentación “Uranium tetrafluoride production at pilot scale using a mercury electrode cell”. Munir Dides, José Hernández.

- **Iniciativa Ciencia Abierta “Charlas Comunidad Escolar RMN” | Santiago, Chile | 23 de agosto de 2023**

Charla “Comisión Chilena de Energía Nuclear: Pasado, Presente y Futuro de la investigación en el quehacer nacional”, en el Instituto Alonso de Ercilla, dictada por José Hernández.



## Transparencia

Se recibieron 1948 solicitudes de información por el sistema de transparencia pasiva, todas respondidas dentro de los plazos que establece la ley. De estas consultas, la mayor parte provinieron de la Región Metropolitana y 17 de fuera del país. Quienes consultan son, principalmente, profesionales, en temáticas propias de las actividades CCHEN.



## CIERRE DE LA CUENTA

Este reporte es nuestra línea de base sobre la cual seguir progresando. No hay duda de que podemos expandir lo que hacemos, cualitativa y cuantitativamente.

En el área de cáncer, estamos postulando a un equipamiento único en el país para ensayos clínicos de nuevos radiofármacos o de tejidos tratados con irradiación, con capacidad de procesamiento de imágenes apoyado por inteligencia artificial. Queremos darle la oportunidad al país, especialmente a la salud pública de contar con nuevas tecnologías para diagnóstico y tratamiento.

En otro orden de ideas, pero siempre dentro del ámbito de la salud, nuestro país cuenta con tejidos procesados por el Banco Nacional de Tejidos e irradiados en la CCHEN, pero sabemos que el crecimiento de la actividad de tejidos en Chile requiere que trabajemos en conjunto, con una mirada multidisciplinaria y que integre la investigación, desarrollo e innovación para poder incorporar conocimiento, mejorar procesos y avanzar en el desarrollo de otras herramientas terapéuticas, que nos permitan llegar a terapias de vanguardia como la medicina regenerativa y reconstructiva.

En el área de los materiales para energía nuestro trabajo en la recuperación de elementos útiles para la industria energética se propone contribuir a la economía circular. En cuanto al litio, nuestra propuesta, con base en la investigación de nuestros investigadores e investigadoras, es incorporar procesos más amigables con el medioambiente. Hoy tenemos resultados concretos de laboratorio que debieran pasar ya a la etapa de pilotaje.

En el año 2022, se reconoció la creciente importancia e impacto que el hidrógeno verde generaba tanto a nivel nacional como internacional. La creciente conciencia sobre la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y limpias para abordar los desafíos energéticos y medioambientales impulsó la decisión de emprender investigaciones significativas en esta área emergente.

Ante esta realidad, se tomó la determinación de fortalecer la capacidad investigativa de la institución, específicamente a través de la inclusión de un nuevo investigador o investigadora. Este paso estratégico tenía como objetivo central desarrollar y liderar un proyecto de investigación de vanguardia en el campo del hidrógeno verde. Esta iniciativa refleja el compromiso de la institución con la innovación y el liderazgo en un campo de investigación crucial para el futuro energético y ambiental del país, al tiempo que demuestra su capacidad para adaptarse e incorporarse a las nuevas tendencias y desafíos en el ámbito energético.

Por otra parte, en la misma área del litio, las técnicas isotópicas de nuestro laboratorio isótopos ambientales y las capacidades del centro de tecnologías nucleares en ecosistemas vulnerables, nos permiten aportar en la caracterización hidrogeológica de los salares donde se extrae ese mineral.

Y en el área regulatoria de instalaciones radiactivas, el país avanza a incorporar estas tecnologías, tanto en el área médica como industrial. Nuestro desafío es que esas tecnologías se usen de manera segura, con precisión para beneficio de los y las pacientes, y con el cuidado para quienes operan las



instalaciones. Este año debiéramos avanzar en nuestro modelo de inspección activa en el área regulatoria.

En esta misma materia, otro desafío relevante de nuestro ámbito regulatorio se relaciona, para el año 2023, con la digitalización de los procesos regulatorios, con miras a hacer mucho más eficiente las tareas relacionadas con la gestión de proyectos, la administración de bases de datos y documentos, la digitalización de sus procesos, y el seguimiento de los mismos. Ello redundaría en la optimización de recursos, tanto económicos, de tiempo, y de factores humanos en el manejo de los procesos, para lograr una mayor eficacia en el quehacer regulador.

En el área de la gestión de desechos radiactivos nos hemos propuesto generar una política de país, que nos permita ir repatriando aquellas fuentes en desuso o sometiendo a tratamiento para eliminar el riesgo de desechos.

En el área medioambiental, los proyectos son variados y las técnicas isotópicas resultan altamente relevantes.

No tenemos dudas de que el tema de género en el área de las ciencias y la tecnología, donde la presencia de mujeres es escasa, es un desafío. Nos atrae generar nuevos espacios para mujeres ingenieras, químicas, físicas y de las áreas técnicas, para que contribuyan desde nuestra institución al desarrollo tecnológico del país.

En esta mirada a la CCHEN, en el período 2022 que hoy reportamos, no es posible incluir todo lo que nuestras funcionarias y funcionarios, profesionales, técnicos, administrativos, investigadores, mujeres y hombres, han realizado en su trabajo diario. Creemos eso sí, o esperamos, que se aprecie la entrega, el compromiso, y donde no falta el entusiasmo personal, con lo cual cada uno y cada una de nosotros aporta a generar y aplicar el conocimiento de nuestra ciencia a las necesidades del país.

En los grandes desafíos actuales tenemos,

El tránsito a formas de energía sostenibles que no impacten en el cambio climático,  
las tecnologías que nos permitan superar los efectos de la crisis climática global,  
la innovación que abra espacio a un modelo de desarrollo intensivo en el uso del conocimiento y agregue valor a nuestra economía,  
la valoración de la ciencia como el medio que permitirá a las futuras generaciones enfrentar las dificultades que tengan que vivir.

Todo ello está en el corazón de la misión de la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

¡Muchas gracias!

**Dr. Luis Huerta Torchio**  
**director ejecutivo CCHEN**

## ANEXO 1

### Proyectos postulados 2022

N°	Nombre del proyecto	Jefe de Proyecto	Contraparte CCHEN	Centro / Universidad	Participación CCHEN	Fondo / versión	Fecha de postulación
1	Consolidación de la OTL Nuclear: potenciando las aplicaciones de las tecnologías nucleares	Luis Huerta	-	DIAN	Beneficiaria	ANID / Consolidación OTL 2022	08/03/22
2	Recovery of valuable metals from copper tailings of the III and IV regions of Chile, through chemical and metallurgical processes, to increase the added value of the industry and advance towards sustainable mining	José Hernández	-	METS	Beneficiaria	ANID / Fondecyt Iniciación 2023	24/03/22
3	Transient Monte Carlo in a research nuclear reactor with individual beta-delayed neutron precursors and comparison with time-dependent reactor	Jaime Romero	-	CEFNE	Beneficiaria	ANID / Fondecyt Iniciación 2023	24/03/22
4	Physical storage of nutrients in the pore volume: a dynamic factor of nutrient availability that depends on soil structure and microbial biomass	John Clunes	Adriana Nario	UACH CTNEV	Asociada	ANID / Fondecyt Iniciación 2023	24/03/22

5	Generación eficiente de H2: optimización de un electrolizador AEM mediante la modificación de material catódico	Julio Urzúa	-	METS	Beneficiaria	ANID / PAI 2022	16/06/22
6	Molecular Imaging Center, Chile	Leopoldo Soto	-	P <sup>2</sup> mc	Beneficiaria	ANID / Fondecyt Mayor 2022	23/06/22
7	Optical communication system for current and future space missions	Marco Díaz	Leopoldo Soto	U. de Chile P <sup>2</sup> mc	Asociada	ANID / Fondecyt Mayor 2022	23/06/22
8	Use of a kilojoule plasma focus device as a high-dose-rate pulsed radiation source to study the cytogenetic damage	José Moreno	-	P <sup>2</sup> mc	Beneficiaria	ANID / Fondecyt Regular 2023	23/06/22
9	Development of a methodology for the determination of intake, absorption, biodistribution and permanence of oral vaccines in aquaculture	Andrea Rivas	Adriana Nario	USS CTNEV	Asociada	ANID / Fondecyt Regular 2023	23/06/22
10	Design, synthesis and characterization of functionalized-pillararenes as metallosupramolecular extractants for the recovery of lanthanides (III) from solid and liquid waste generated in the mining industry	Rodrigo Montecinos	Peter Fleming	PUC METS	Asociada	ANID / Fondecyt Regular 2023	23/06/22



11	Effect of dissolved organic matter of anthropic origin on the mobility and availability of organic pollutants in agricultural soils	Tatiana Garrido	Enrique Mejías	U. de Chile CTNEV	Asociada	ANID / Fondecyt Regular 2023	23/06/22
12	Exploration of the potential of two plant species ( <i>Salix</i> sp and <i>Phytolacca</i> sp) to be used as study models in the development of a methodology based on phytomining for the recovery of Rare Earth Elements from mining environmental liabilities	Daniel Villegas Peter Fleming	-	CTNEV METS	Beneficiaria	ANID / Exploración 2022	18/08/22
13	Tabletop quasi-spherical pulsed plasma compressor as scale laboratory for nuclear fusion and astrophysics	Leopoldo Soto Marina Stepanova	-	P2mc USACH	Beneficiaria	ANID / Exploración 2022	18/08/22
14	Ciencia y tecnología de transformaciones atómicas y macromoleculares de materiales lignocelulósicos para la fabricación de nuevos y avanzados	Héctor Pesenti William Gacitúa	Eugenio Vargas Jaime Lisboa	UCT UBB DRiCN	Beneficiaria	ANID / Exploración 2022	18/08/22
15	Exploring the threats of space radiation during manned flights: an experimental approach to understand how radiation affects the neural system	Elena Popova Ethel Velásquez	-	UBO CINAS	Secundaria	ANID / Exploración 2022	18/08/22

16	Bound states in the continuum in dynamic and topological metamaterials	Pedro Orellana Mónica Pacheco	Gonzalo Avaria	UTFSM P <sup>2</sup> mc	Beneficiaria	ANID / Exploración 2022	18/08/22
17	Instituto del tiempo	Olaya Sanfuentes Gonzalo Avaria	-	PUC P <sup>2</sup> mc	Secundaria	ANID / Exploración 2022	18/08/22
18	Nuevas oportunidades de adaptación al cambio climático: buscando mieles de alta calidad en bosques afectados por sequía en Chile	Ariel Muñoz Enrique Mejías	-	PUCV CTNEV	Secundaria	ANID / Exploración 2022	18/08/22
19	Vinculación CCHEN-CIATEJ para la integración de técnicas nucleares biotecnológicas para evaluar la adaptabilidad de especies vegetales frente al cambio climático	Daniel Villegas	-	CTNEV	Institución proponente	Fondo Chile - México	18/08/22
20	Red transdisciplinaria sobre salares, sus recursos minerales, energía y microbioma: desafíos y oportunidades para Chile	Ingrid Garcés	Leopoldo Soto	U. de Antofagasta P <sup>2</sup> mc	Asociada	ANID / Fomento a la vinculación internacional para instituciones	08/09/22

						de investigación	
21	Ciencia y tecnología nuclear: enseñanza e investigación en el contexto nacional y regional	Iván Merino		UCM CEFNEP P <sup>2</sup> mc	Asociada	ANID / Fomento a la vinculación internacional para instituciones de investigación	08/09/22
22	Tecnologías nucleares y biotecnológicas para mejorar la sustentabilidad de ecosistemas forestales frente al cambio climático	Patricio Rojas	Daniel Villegas Doris Ly	INFOR CTNEV	Asociada	ANID / Fomento a la vinculación internacional para instituciones de investigación	08/09/22
23	Innovación tecnológica y trazabilidad de microplásticos en fiordos patagónicos	Ana Valdés	-	CTNEV	Beneficiaria	FIC-R - Región de Aysén	21/11/22

## Proyectos adjudicados 2022

N°	Nombre del proyecto	Jefe de Proyecto	Contraparte CCHEN	Centro / Universidad	Participación CCHEN	Fondo / versión
1	Research of the effects of pulsed radiation. Development and optimization of a nanosecond pulsed radiation source based on the plasma focus device	Jalaj Jain	-	P2mc	Beneficiaria	ANID / Fondecyt Iniciación 2023
2	Effect of N fertilization amount and form (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> or NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) on Ca nutrition of blueberry ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) in Andisol soils of Southern Chile	Claudia Bonomelli	Adriana Nario	PUC CTNEV	Asociada	ANID / Fondecyt Regular 2023
3	Studies on helical supersonic thermal plasma expansion process to synthesis Lithium based nanoparticles for energy storage devices: feasibility studies for bringing it to industrial scale	Biswajit Bora	-	P <sup>2</sup> mc	Beneficiaria	ANID / Fondecyt Regular 2023

## Proyectos en ejecución 2022

N°	Cartera	Título de Proyecto	Jefe de Proyecto	Centro - ID	Fecha de inicio	Fecha de término
1	CCHEN	Estudio de la radiomarcación de [99mTc]PSMA utilizando 99mTc obtenido a partir de generador de 99Mo/99mTc y obtenido mediante activación neutrónica en el RECH-1	Roberto Mercado	CINAS	2021	2022
2	CCHEN	Estudio de viabilidad de la producción de generadores de 99Mo/99mTc en la CCHEN a partir de Mo de fisión comercial	Sylvia Lagos	CINAS	2021	2022
3	CCHEN	Estudio del efecto a nivel celular y molecular de las radiaciones ionizantes sobre sistemas biológicos	Ethel Velásquez	CINAS	2021	2022
4	CCHEN	Uso de bajas dosis de radiación ionizante para estudiar la respuesta hormética sobre especies agrícola	Daniel Villegas	CTNEV	2021	2022
5	CCHEN	Uso de radiaciones ionizantes para inducir mutagénesis en Lagenaria siceraria	Daniel Villegas	CTNEV	2021	2022
6	OIEA	Uso de radiación y técnicas para mejoramiento genético	Daniel Villegas	CTNEV	2022	2023
7	CCHEN	Uso de radiaciones ionizantes para inducir mutagénesis en Nolana intensa	Doris Ly	CTNEV	2021	2022

8	CCHEN	Uso de bajas dosis de radiación ionizante para estudiar la respuesta hormética en especies forestales	Doris Ly	CTNEV	2021	2022
9	FIC-R	Innovación para el Uso de Inducción de Mutagénesis para mejorar la tolerancia a la Sequía de Especies Forestales Nativas y Exóticas frente al cambio climático	Doris Ly	CTNEV	2022	2023
10	OIEA	Development of Methodology to Induce Mutations in Chilean Native Potato Varieties for Disease Resistance	Doris Ly	CTNEV	2022	2024
11	OIEA	Uso de isótopos estables ( $^{133}\text{Cs}$ y $^{89}\text{Sr}$ ) como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de los radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura	Adriana Nario	CTNEV	2022	2024
12	OIEA	Mejora de los medios de subsistencia mediante una mayor eficiencia en el uso del agua asociada a estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en la agricultura	Adriana Nario	CTNEV	2018	2022
13	OIEA	Mejoramiento de las prácticas de fertilización en un cultivo con importancia económica y social en Chile aplicando bioestimulantes bacterianos evaluados mediante el uso de técnicas isotópicas ( $^{15}\text{N}$ )	Adriana Nario	CTNEV	2018	2022
14	OIEA	Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del Impacto Radiológico Ambiental	Adriana Nario	CTNEV	2022	2024
15	OIEA	Evaluación de los efectos de los metales pesados y otros contaminantes en los suelos contaminados por actividades de origen antropogénico y natural	Ana Valdés	CTNEV	2022	2025

16	OIEA	National reference system for verification of authenticity (food authenticity) and determination of origin (traceability) of food	Enrique Mejías	CTNEV	2022	2024
17	CCHEN	Nuevos materiales en celdas solares orgánicas para mejorar la eficiencia	Gloria Neculqueo	METS	2021	2022
18	CCHEN	Estudio de mezclas de líquidos iónicos como fluido de almacenamiento y transferencia de energía solar	Julio Urzúa	METS	2021	2022
19	FONDECYT Iniciación 2022	Extracción simultánea de magnesio y boro para la obtención de salmueras de litio de alta pureza utilizando un nuevo líquido iónico como extractante	Julio Urzúa	METS	2021	2022
20	CCHEN	Desarrollo de un sistema de nano hidrometalurgia magnética para la obtención de salmueras de litio de alta pureza	María José Inestrosa	METS	2021	2022
21	CCHEN	Implementación de un equipo de sputtering para el desarrollo de Ionanofluidos para el almacenamiento y transferencia de energía solar	María José Inestrosa	METS	2021	2022
22	CCHEN	Obtención de concentrados de óxidos ETR, desde ripios mineros portadores	Peter Fleming	METS	2021	2022
23	CCHEN	Recuperación de litio y cobalto, desde baterías desechadas, mediante implementación de técnicas hidrometalúrgicas	Peter Fleming	METS	2021	2022
24	CCHEN	Caracterización Eléctrica de materiales	Ricardo Ávila	METS	2021	2022

25	CCHEN	Separación de Elementos de Tierras Raras livianas, pesadas y elementos en forma individual desde concentrado global	Pedro Orrego	METS	2021	2022
26	CCHEN	Recuperación de metales de valor desde relaves mineros de la III y IV región, mediante procesos de lixiviación por agitación.	José Joaquín Hernández	METS	2022	2023
27	FONDECYT Regular 2019	Caracterización experimental de radiaciones pulsadas y partículas generadas por dispositivos de plasma focus de baja muy baja energía y estudio de sus efectos en la materia	José Moreno	P <sup>2</sup> mc	2019	2022
28	FONDEF	Síntesis de nanopartículas de Li-S-C para dispositivos de almacenamiento de energía de alta densidad por el método de expansión de plasma térmico supersónico	Biswajit Bora	P <sup>2</sup> mc	2019	2022
29	FONDECYT Regular 2021	Investigación fundamental en dispositivos Plasma Focus de baja energía en régimen de alta emisión de neutrones	Cristian Pavez	P <sup>2</sup> mc	2021	2024
30	FONDECYT Regular 2021	Mediciones espectroscópicas de efecto Zeeman para caracterizar el campo magnético en una descarga Plasma Focus de baja energía	Gonzalo Avaria	P <sup>2</sup> mc	2021	2024
31	FONDECYT Regular 2021	Propulsor de plasma miniaturizado para nanosatélites CubeSat	Leopoldo Soto	P <sup>2</sup> mc	2021	2024
32	CCHEN	Formulación Bayesiana de la Mecánica Estadística para Estados Estacionarios fuera del Equilibrio	Sergio Davis	P <sup>2</sup> mc	2021	2022
33	FONDECYT Regular 2022	Mecánica Estadística Bayesiana: Teoría y herramientas computacionales para sistemas fuera del equilibrio con interacciones de largo alcance	Sergio Davis	P <sup>2</sup> mc	2022	2026



34	FONDECYT Regular 2022	Cosmic ray neutron spectroscopy and local variables simultaneous measurement studies throughout Chile	Francisco Molina	CEFEN	2022	2026
35	CCHEN	Estudio de estructura nuclear de núcleos exóticos en grandes instalaciones	Francisco Molina	CEFEN	2021	2022
36	CCHEN	Estudio y caracterización espectroscópica de fuentes de neutrones pulsadas tales como neutrones de reacciones de fusión en dispositivos Plasma Focus	Marcelo Zambra	CEFEN	2021	2022
37	CCHEN	Estudio y caracterización espectroscópica de fuentes de neutrones continuas como haces de reactor	Marcelo Zambra	CEFEN	2021	2022

## ANEXO 2

### Publicaciones de investigadores e investigadoras CCHEN en 2022

#### Publicaciones aceptadas

Clasificación	Número
Q1 – Q2	15
Q3 – Q4	2
Sin cuartil	2
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>

N°	Centro	Nombre del artículo	Autores	Revista	Fecha de aceptación	DOI	Cuartil
1	P2mc	A portable and flexible implementation of the Wang–Landau algorithm in order to determine the Density of States	Felipe Moreno, <b>Sergio Davis</b> , Joaquín Peralta.	Computer Physics Communications	3/01/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cpc.2022.108283">https://doi.org/10.1016/j.cpc.2022.108283</a>	Q1
2	CTNEV	Absorption and Distribution of Calcium ( <sup>45</sup> Ca) Applied to the Surface of Orange (Citrus sinensis) Fruits at Different Stages	Claudia Bonomelli, Victoria Fernández, Franco Capurro, Carola Palma, <b>Ximena Videla</b> , <b>Ximena Rojas</b> , <b>Adriana Nario</b> , Johanna Martiz.	Agronomy	6/01/2022	<a href="https://doi.org/10.3390/agronomy12010150">https://doi.org/10.3390/agronomy12010150</a>	Q1
3	CTNEV	Determination of Pesticides Residues in Bee Products: An Overview of the Current Analytical Methods	<b>Enrique Mejías</b> y Tatiana Garrido	Insecticides	8/01/2022	<a href="http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102541">http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102541</a>	-

4	METS	Ionofluids based on ionic liquid mixtures, a new approach as an alternative material for solar energy storage	Jenifer Cavieres, <b>María José Inestrosa</b> , Diego Vasco, <b>Julio Urzúa</b>	Journal of Molecular Liquids	31/01/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118677">https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118677</a>	Q1
5	P2mc	Nonequilibrium, highly inhomogeneous melting in the microcanonical ensemble	Claudia Loyola, <b>Sergio Davis</b> y Joaquín Peralta	Physica A	5/02/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127045">https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127045</a>	Q1
6	CTNEV	Water consumption by agriculture in Latin America and the Caribbean region: climate change impacts and applications of nuclear and isotopic techniques	Oswaldo Salazar, Cristina Chinchilla-Soto, Sergio de los Santos-Villalobos, Marisol Ayala, Luciano Benavides, Verónica Berriel, Renan Cardoso, Eduardo Chavarrí, Roberto Meigikos dos Anjos, Alba Liz González, <b>Adriana Nario</b> , Antonio Samudio, José Villarreal, Rita Sibello-Hernández, Joseph Govan, Lee Heng	International Journal of Agriculture and Natural Resources	14/03/2022	<a href="http://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v49i1.2342">http://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v49i1.2342</a>	Q3
7	METS	8-hydroxyquinolinato lithium nano-interlayer in tandem OPV devices	<b>Gloria Neculqueo</b> y Felipe A. Angel	Journal of Materials Science: Materials in Electronics	11/04/2022	<a href="https://doi.org/10.1007/s10854-022-08261-2">https://doi.org/10.1007/s10854-022-08261-2</a>	Q2

8	METS	Determination of Pb, Cd and Zn in seawater, hair from smokers and seaweed, using the Anodic Stripping Voltammetry (ASV) technique and the Bismuth Film Electrode (BiFE)	<b>Manuel Escudero y José Joaquín Hernández</b>	Journal of Chemical Technology and Metallurgy	15/04/2022	Correo de aceptación	Q3
9	CEFENEN	The $\beta$ -decay of $^{70}\text{Kr}$ into $^{70}\text{Br}$ : Restoration of the pseudo-SU(4) symmetry	A. Vitéz-Sveicz, A. Algora, A.I. Morales, B. Rubio, G.G. Kiss, P. Sarriguren, vP. Van Isacker, G. de Angelis, F. Recchia, S. Nishimura, J. Agramunt, V. Guadilla, A. Montaner-Pizá, S.E.A. Orrigo, A. Horváth, D. Napoli, S. Lenzi, A. Boso, V.H. Phong, J. Wu, P.-A. Söderström, T. Sumikama, H. Suzuki, H. Takeda, D.S. Ahn, H. Baba, P. Doornebal, N. Fukuda, N. Inabe, T. Isobe, T. Kubo, S. Kubono, H. Sakurai, Y. Shimizu, C. Sidong, B. Blank, P. Ascher, M. Gerbaux, T. Goigoux, J. Giovinazzo, S. Grévy,	Physics Letters B	19/04/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137123">https://doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137123</a>	Q1

			T. Kurtukián Nieto, C. Magron, W. Gelletly, Zs. Dombrádi, Y. Fujita, M. Tanaka, P. Aguilera, <b>F. Molina</b> , J. Eberth, F. Diel, D. Lubos, C. Borcea, E. Ganioglu, D. Nishimura, H. Oikawa, Y. Takei, S. Yagi, W. Korten, G. de France, P. Davies, J. Liu, J. Lee, T. Lokotko, I. Kojouharov, N. Kurz, H. Shaffner and A. Petrovici				
10	CTNEV	Pinus plantations impacts hillslope stability and decrease landscape resilience by changing biogeomorphic feedbacks in Chile	Danny Troger, Andreas Christian Braun, Jana Eichel, Sebastian Schmidtlein, Marco Sandoval Estrada, <b>Ana Valdés Duran</b>	Catena	4/05/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.caten.2022.106364">https://doi.org/10.1016/j.caten.2022.106364</a>	Q1
11	CTNEV	Extreme Climatic Events in Northern Chile and their Impact on the Geochemical Composition of the Huasco River	<b>Ana Valdés</b> , Josefa Velásquez, <b>Gloria Neculqueo</b> , Katja Deckart, Dante Cáceres Lillo, Luis Navarro, Danny Trogger, Alejandra	Journal of South American Earth Sciences	5/07/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103927">https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103927</a>	Q2

			Canales, Marx Buscaglia Solé, María Eliana Escobar				
12	CEFREN	Measuring the $\beta$ -decay Properties of Neutron-rich Exotic Pm, Sm, Eu, and Gd Isotopes to Constrain the Nucleosynthesis Yields in the Rare-earth Region	G. G. Kiss, A. Vitéz-Sveicz, Y. Saito, A. Tarifeño-Saldivia, M. Pallas, J. L. Tain, I. Dillmann, J. Agramunt, A. Algora, C. Domingo-Pardo, A. Estrade, C. Appleton, J. M. Allmond, P. Aguilera, H. Baba, N. T. Brewer, C. Bruno, R. Caballero-Folch, F. Calvino, P. J. Coleman-Smith, G. Cortes, T. Davinson, N. Fukuda, Z. Ge, S. Go, C. J. Griffin, R. K. Grzywacz, O. Hall, A. Horváth, J. Ha, L. J. Harkness-Brennan, T. Isobe, D. Kahl, T. T. King, A. Korgul, S. Kovács, R. Krücken, S. Kubono, M. Labiche, J. Liu, J. Liang, M. Madurga, K. Miernik, <b>F. Molina</b> , A. I. Morales, M. R.	The Astrophysical Journal	12/07/2022	<a href="https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac80fc">10.3847/1538-4357/ac80fc</a>	-

			Mumpower, E. Nacher, A. Navarro, N. Nepal, S. Nishimura, M. Piersa- Siłkowska, V. Phong, B. C. Rasco, B. Rubio, K. P. Rykaczewski, J. Romero-Barrientos, H. Sakurai, L. Sexton, Y. Shimizu, M. Singh, T. Sprouse, T. Sumikama, R. Surman, H. Suzuki, T. N. Szegedi, H. Takeda, A. Tolosa, K. Wang, M. Wolinska- Cichocka, P. Woods, R. Yokoyama, and Z. Xu				
13	CTNEV	Environmental Geosciences in Chile: A scientific basis for a country reviewing its environmental practices	<b>Ana Valdés</b> , Violeta Tolorza, Germán Aguilar	Journal of South American Earth Sciences	14/07/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103935">https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103935</a>	Q2
14	P2mc	Model of Thomson scattering from z-pinch plasma: application in experimental design for Plasma Focus	M. Zorondo, <b>C. Pavez</b> and V. Muñoz	Results in Physics	16/07/2022	<a href="https://doi.org/10.1016/j.rinp.2022.105831">https://doi.org/10.1016/j.rinp.2022.105831</a>	Q2
15	P2mc	Bayesian inference of spectrometric data and validation with numerical simulations of plasma sheath diagnostics of a Plasma Focus discharge	<b>Gonzalo Avaria</b> , Alejandro Clause, <b>Sergio Davis</b> , Cristian Pavez, Nelson Villalba, Osvaldo	Scientific Report	05/09/22	<a href="https://doi.org/10.1038/s41598-022-19764-7">https://doi.org/10.1038/s41598-022-19764-7</a>	Q1

			Cuadrado, <b>José Moreno</b> , Marcelo Ruiz and <b>Leopoldo Soto</b>				
16	P2mc	A classification of nonequilibrium steady states based on temperature correlations	<b>Sergio Davis</b>	Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	08/10/22	<a href="https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.128249">https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.128249</a>	Q1
17	CTNEV	Cancer Burden Disease Attributable to PM2.5 and Health Risk by PM2.5-Bound Toxic Species in two urban Chilean Municipalities	Ye Li, FranzMuñoz-Ibañez, Ana Maldonado-Alcaino, Darby Jack, Beizhan Yan, Li Xu, Marco Acuña, Manuel Leiva-Guzman, <b>Ana Valdés</b> , Dante D. Caceres	Aerosol and Air Quality Research	07/11/22	<a href="https://doi.org/10.4209/aaqr.20247">https://doi.org/10.4209/aaqr.20247</a>	Q2
18	P2mc	New evidence about the nature of plasma filaments in plasma accelerators of type plasma-focus	Cristian Pavez, Maximiliano Zorondo, José Pedreros, Adolfo Sepúlveda, Leopoldo Soto, Gonzalo Avaria, José Moreno, Sergio Davis, Biswajit Bora, Jalaj Jain	Plasma Physics and Controlled Fusion	08/11/22	<a href="https://doi.org/10.1088/1361-6587/aca358">https://doi.org/10.1088/1361-6587/aca358</a>	Q1
19	P2mc	Design and stability analysis of an Automatic Power Design and stability analysis of an Automatic Power control based on a PI controller for Laser Drivers.	Marco Díaz, José Pedreros, Alex Becerra, Javier Rojas, Cristian Pavez	Optics and Lasers in Engineering	15/11/22	Correo de aceptación	Q1