



MEMORIA INSTITUCIONAL 2023

COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR

Oficina Asesora de Comunicación Corporativa

INTRODUCCIÓN

Desde 1964, hemos acumulado un patrimonio de conocimiento que pertenece a todos los y las habitantes de Chile, con un impacto significativo en diversos sectores de la sociedad, que contribuye al desarrollo nacional y al bienestar de las personas.

En esta memoria compartimos los principales resultados del trabajo realizado en 2023, con foco en las necesidades del país.

Para comenzar, resulta relevante destacar la adjudicación de fondos por parte de la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo), con miras a fortalecer nuestras capacidades y a desarrollar otras nuevas. Lo anterior, con el objetivo de llevar adelante la misión institucional relacionada con el desarrollo productivo sostenible, mediante investigación y transferencia tecnológica.

El año pasado, nuestros investigadores e investigadoras se adjudicaron proyectos relacionados con la medicina nuclear, la agricultura, el medioambiente, la minería y las energías renovables. Además, continuamos avanzando en investigación y desarrollo en temas de litio y otros materiales para la transición energética, así como en la preservación del patrimonio cultural de Chile, área en la que comenzamos a dar nuestros primeros pasos, junto a instituciones clave a nivel nacional.

Por otra parte, nuestro compromiso con la seguridad en el uso de tecnologías nucleares y radiaciones ionizantes es firme, toda vez que garantizamos la correcta gestión de desechos radiactivos y la protección radiológica de las personas y el medioambiente.

Hemos impulsado colaboraciones con universidades y centros científicos a nivel nacional e internacional, fortaleciendo así nuestras capacidades y recursos, lo que cobra especial relevancia en medio de un escenario en el que enfrentamos desafíos presupuestarios.

Los y las invitamos a conocer en detalle estos logros y esfuerzos, reflejados en nuestra memoria institucional. Su participación y su retroalimentación son esenciales para seguir avanzando y mejorando en nuestra misión de servir al país mediante el uso pacífico de la energía nuclear.

Todo el detalle de esta y otras funciones las encontrarás en las siguientes páginas. ¡Gracias por sumarte a este proceso participativo!

CCHEN SALUD

Radiofarmacia para el cáncer



Foto 1: Producción de radiofármacos en la CCHEN.

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. Cabe señalar, que esta línea de trabajo llevó a cabo un trabajo de actualización, acorde a la nueva normativa regulatoria para radiofarmacia.

En 2023, el RECH-1 realizó 69 producciones, de las cuales 37 fueron de Tecnecio-99m, 32 de Yodo-131. En la siguiente tabla se puede ver la comparación con los años anteriores.

Tabla 1: Comparación de cantidad de producciones realizadas por año.

N° Producción	Año						
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
^{99m} Tc	237	242	233	233	238	238	37
¹³¹ I	51	59	39	37	36	30	32
Total	288	301	272	270	274	268	69

Radioisótopos de ciclotrón

El Flúor-18 es ampliamente utilizado como método de diagnóstico para detección de diversos tipos de cáncer. Se trata de un elemento emisor de positrones y es la materia prima de 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.

Es así como en 2023 entregamos 2.186 dosis del radiofármaco a las instituciones de salud del país. Debido a que una dosis es igual a la actividad inyectada por paciente, el número de dosis entregadas es equivalente a la cantidad de pacientes tratados en el período.

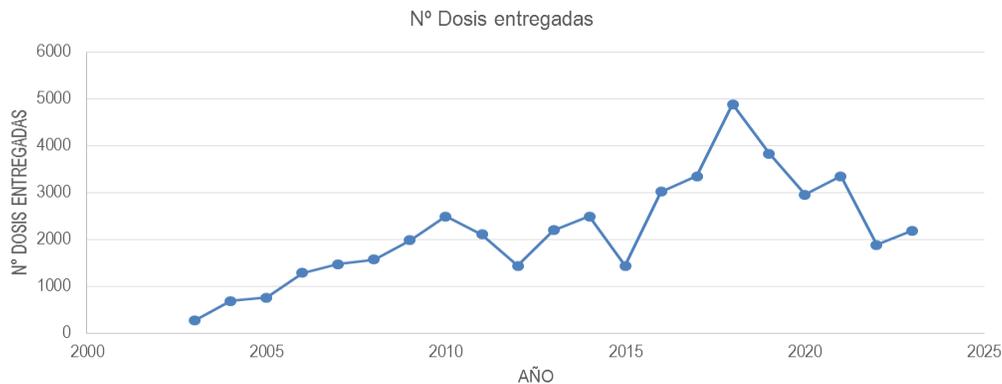


Gráfico 1: Evolución de la provisión de Flúor 18 FDG en los años de funcionamiento del Ciclotrón.

- **Proyecto Habilitación Operacional de Laboratorio de Ciclotrón**

El proyecto “Habilitación operacional del nuevo laboratorio para producción del radiofármaco Flúor 18” busca desarrollar mayor experiencia y capacidad en el uso de equipos y tecnologías diversas, junto con desarrollar nuevos procesos y procedimientos.

También considera, en esta etapa de habilitación operacional, 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 los equipos, instalaciones y operarios durante la producción rutinaria de radiofármacos.

En 2023 se hicieron las pruebas requeridas por la autoridad reguladora, así como producciones de bajos y altos niveles de actividad de Flúor-18, levantamiento de riesgos radiológicos y dosis operacionales, por lo que todo se encuentra en condiciones normales de operación a nivel radiológico.

En 2023 también se efectuaron reuniones técnicas con inspectores de la autoridad reguladora y se generó la documentación requerida para la solicitud de autorización del nuevo laboratorio de producción del ciclotrón.

Liofilizados

El Laboratorio de Liofilizados cumple la función de producir los juegos de reactivos o kits para marcación con Tecnecio-99mTc.

En 2023 se comercializaron 1.696 frascos de juegos de reactivos.

Control de calidad

Una parte crucial del proceso de producción de radiofármacos es el control de calidad. Las operaciones se desarrollan según el marco sanitario normativo establecido y fiscalizado por el Instituto de Salud Pública. Este marco normativo lo componen las llamadas “Buenas Prácticas de Laboratorio y Producción”. Adicionalmente, el laboratorio da cumplimiento a la normativa radiológica, mediante la actualización de licencias de operación y de desempeño de funcionarios y funcionarias.

En 2023 se realizaron 282 ensayos de control de calidad que involucraron radiofármacos y radioisótopos producidos por la CCHEN, según la siguiente distribución:

- 27 ensayos de Tecnecio-99m
- 32 ensayos de Yodo-131
- 8 ensayos de cápsulas de Yodo 131
- 210 ensayos de Flúor-18
- 5 ensayos de productos provenientes del área de liofilizados

Adicionalmente, se analizaron insumos como material de envase, empaque y materias primas, empleados para la manufactura de las distintas áreas productivas.

Como parte del proceso de mejora continua, se realizó la adquisición de equipamiento e instrumentos para optimizar los procesos fisicoquímicos y microbiológicos.

Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia

Línea de investigación: Desarrollo de radiomoléculas de interés diagnóstico y terapéutico

Nuestro Centro de Investigaciones Nucleares para Aplicaciones en Salud y Biomedicina (CINASB) continuó impulsando la implementación del nuevo Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia (LIDERA), a través del proyecto “Creación de capacidades en materia de aplicaciones de ciencia y tecnología nucleares”, financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En 2023 se gestionó apoyo para becas y visitas científicas, para reforzar las capacidades de investigación y desarrollo para marcación con nuevas moléculas, para diagnóstico y terapia.

Proyecto

- **Proyecto “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”**

Centro de Investigaciones Nucleares para Aplicaciones en Salud y Biomedicina

Jefe de proyecto: Roberto Mercado

Financiamiento: CCHEN

En 2023 destaca el desarrollo de un método de análisis para determinar la pureza radioquímica de Tecnecio-99m PSMA, la obtención de un kit de reactivo liofilizado para la marcación y el estudio de la radiomarcación utilizando el radioisótopo que fue obtenido en el reactor RECH-1. La pureza radioquímica fue evaluada por TLC (Radiocromatografía de capas finas).

Esta investigación es parte de la línea de estudio de la unión de metales con péptidos, para distintas aplicaciones.

Participación en congresos y seminarios

En 2023, investigadores e investigadoras del CINABS participaron y expusieron en los siguientes eventos:

- International Symposium on Trends in Radiopharmaceuticals 2023 | Viena, Austria.
- XXIX Congreso Asociación Latinoamericana de Sociedades de Biología y Medicina Nuclear | Buenos Aires, Argentina.
- Seminario de Procuramiento y Uso Clínico de Tejidos Humanos | Santiago, Chile.

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

Proporciona servicios de dosimetría para la irradiación del cuerpo entero, extremidades y el cristalino. Los trabajadores ocupacionalmente expuestos llevan consigo dispositivos durante sus jornadas laborales, los cuales absorben las dosis, a las cuales dichos trabajadores están expuestos. Posteriormente, estos dispositivos se leen para evaluar la dosis recibida, la cual se informa tanto a la unidad o institución correspondiente como al trabajador expuesto. Esta información es esencial para garantizar la seguridad de los trabajadores y el cumplimiento de las regulaciones nacionales vigentes.

Entre 2022 y 2023, evidenciamos un aumento en el uso de esta técnica, debido, en gran medida, a la mayor presencialidad de trabajadores y trabajadoras, tras la pandemia. Es así como en 2023 se registraron más de 22.000 dosis informadas, a partir de 304 solicitudes de usuarios y usuarias.

Tabla 2: Solicitudes de envío de dosímetros y nuevas solicitudes de servicio entre 2018 y 2023.

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
2023	27179	304	22085

En lo referente al control dosimétrico del personal de la CCHEN, en 2023 se asignaron 4.136 dosímetros y para servicios externos una cantidad de 27.179 dosímetros.

Tabla 3: Tipos de dosímetros asignados y enviados durante el año 2023.

Servicio CCHEN		Servicio Externo	
Anillo	1436	Anillo	654
Cristalino	288	Cristalino	0
PD3	343	PD3	22324
PD5	1911	PD5	0
PD8	158	PD8	4201
Total	4.136	Total	27.179

Cabe señalar que la dosimetría personal externa de la CCHEN, actualmente, mantiene un 100% de efectividad, dado el informe de resultados del ejercicio de intercomparación realizado en 2023, informado por el Instituto de Salud Pública, según el programa Evaluación de la Calidad de la Dosimetría Personal 2023.

Dosimetría Interna

El servicio de dosimetría interna consiste en la estimación de dosis incorporadas en una persona expuesta a radiaciones ionizantes, que pueden ser “In Vitro” e “In Vivo”. En las mediciones “In Vitro” se estiman las dosis incorporadas por contaminación interna a través de mediciones de orina del trabajador o trabajadora expuesto/a. Para la técnica “In Vivo” se realizan mediciones directas a cuerpo entero en los trabajadores o trabajadoras expuestos/as a radiaciones ionizantes para identificar radionucleidos incorporados en el organismo.

- En 2023 se realizaron 1.032 análisis por dosimetría interna in vitro provenientes de clientes internos y externos. Respecto a los análisis in vivo, se realizaron 180 análisis. En total se procesaron 1.212 análisis en el área de dosimetría interna.

Tabla 4: Análisis dosimetría interna (in vivo e in vitro) - 2019 a 2023

Detalle Análisis	2019	2020	2021	2022	2023
Análisis de muestras de orina clientes internos	1091	710	646	641	443
Análisis de muestras de orina clientes externos	459	389	323	312	589
Análisis por contador de cuerpo entero	427	425	309	240	180
Eventos no programados	120	-	-	-	-
Análisis totales (clientes internos y externos)	2097	1524	1278	1193	1212

Dosimetría citogenética

El servicio de dosimetría biológica o citogenética estima la dosis absorbida a cuerpo entero en personas presuntamente sobreexpuestas a radiación ionizante. La pertinencia de este ensayo debe ser evaluada caso a caso. Luego de aceptar la solicitud, se realiza una entrevista con la persona presuntamente sobreexpuesta, y posterior a la toma de la muestra de sangre, se estima un plazo de 15 días hábiles para entregar el informe con los resultados del ensayo. En casos particulares, según el escenario de sobreexposición, el plazo puede extenderse.

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.

En 2023 se atendió una solicitud de ensayos para realizar la estimación de dosis absorbida en seis pacientes presuntamente sobreexpuestos a radiación ionizante. Además, se realizaron 12 ensayos más, para verificar el buen rendimiento de reactivos y el funcionamiento de equipos.

En el período también destaca el compromiso en el ámbito de la educación y la capacitación. Un ejemplo de ello es la realización del primer Taller de Dosimetría Citogenética a estudiantes de primer año del Magíster en Física

Médica del Instituto de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y el Curso Regional del Organismo Internacional de Energía Atómica denominado “Apoyo a los Físicos Médicos para Emergencias Nucleares y Radiológicas”, en el marco del cual se impartieron materias de “Estimación temprana de la magnitud de la dosis” y “Efectos Biológicos”.



Foto 2: Alumnos y alumnas de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile.



Foto 3: participantes del Taller Regional Red Latinoamericana de Dosimetría Biológica.

También participamos en el Taller Regional de la Red Latinoamericana de Dosimetría Biológica, realizado en el marco del proyecto regional del OIEA “Fortalecimiento de las capacidades regionales para usuarios finales y organizaciones de apoyo técnico en materia de protección radiológica y de preparación y respuesta para casos de emergencias de conformidad con los requisitos del OIEA”, del 27 de noviembre al 1 de diciembre de 2023.

La CCHEN organizó el Taller “Análisis de resultados de los trabajos experimentales de la Red Latinoamericana de Dosimetría Biológica”, para analizar los resultados de los trabajos experimentales desarrollados en los laboratorios de la red, y preparar a los mismos para el empleo del Sistema de Análisis Microscópico Automatizado Metafer de MetaSystems. Su organización y coordinación estuvo a cargo del Laboratorio de Dosimetría Citogenética de la CCHEN.

Proyectos

- **“Caracterización Experimental de Radiaciones Pulsadas y Partículas Generadas por Dispositivos de Foco de Plasma de Baja Energía y Estudio de sus Efectos sobre la Materia” (FONDECYT Regular 1190677)**
Esta área también ha contribuido al estudio del efecto de la radiación pulsada emitida por dispositivos de plasma focus evaluando marcadores citogenéticos en linfocitos de sangre periférica. En marzo de 2023 finalizó el proyecto FONDECYT Regular 1190677.

Resultados

Con el marcador citogenético utilizado, correspondiente a aberraciones cromosómicas inestables, se evaluó el efecto de la radiación pulsada (rayos X de baja energía) sobre el ADN. Este efecto presenta una correlación positiva, es decir, a mayor cantidad de pulsos, mayor frecuencia de aberraciones observadas. El número de pulsos utilizado para los ensayos de irradiación fueron cuantificados en dosis, usando TLD. Al comparar el efecto biológico esperado a las dosis estimadas, la frecuencia de aberraciones cromosómicas inestables observada, al irradiar con pulsos provenientes del dispositivo PF2kJ, es mayor que la esperada para fuentes de radiación convencional, a las dosis estimadas por TLD. Incluso es mayor el efecto observado que el esperado para fuentes de radiación de alto LET (los rayos X pulsado corresponden a baja LET).

Publicación

“Use of a Plasma Focus Device to study pulsed X-rays effects on Peripheral Blood Lymphocytes: Analysis of Chromosome Aberrations” (2023)

Journal of Applied Physics

Valentina Verdejo, Analía Radl, Joan-Francesc Barquinero, Jalaj Jain, Sergio Davis, Cristian Pavez, Leopoldo Soto y José Moreno*

<https://doi.org/10.1063/5.0141529>

-
- **Proyecto coordinado de investigación “Aplicaciones de los métodos de dosimetría biológica en radiooncología, medicina nuclear y radiología diagnóstica e intervencionista” (CRP E35010)**

El Laboratorio de Dosimetría Citogenética realiza un trabajo de investigación asociado al seguimiento de pacientes de radioterapia evaluando el daño citogenético, a través de este proyecto, que contó con apoyo del OIEA desde el año 2017.

En colaboración con el área de Radioterapia de Clínica Las Condes, el laboratorio realiza evaluaciones del daño citogenético con dos técnicas (micronúcleos por bloqueo de la citocinesis y cromosomas dicéntricos y anillos céntricos). Con los resultados, se propone desarrollar un estudio prospectivo realizando el seguimiento de pacientes diagnosticadas con cáncer de mama, no fumadoras, de entre 30 y 50 años, sin antecedentes de cáncer previos, que hayan recibido radioterapia como tratamiento exclusivo. El seguimiento de pacientes se realizó hasta los seis meses posteriores al término del tratamiento con radioterapia. En el período se logró reclutar más pacientes y realizar el seguimiento de los ya existentes.

Entre el 30 de mayo y el 1 de junio de 2023 se realizó, en modalidad virtual, la última reunión de coordinación del proyecto, donde se expusieron los resultados obtenidos por cada proyecto.

Metrología de Radiaciones Ionizantes en Salud

La metrología de radiaciones ionizantes permite desarrollar técnicas orientadas a mantener consistencia en las medidas de dosis efectuadas con diversos instrumentos y para variados objetivos, y disponer de la estructura adecuada para la calibración y estandarización de generadores de radiaciones y detectores de radiaciones, rayos X, de neutrones y partículas cargadas.

El Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes de la CCHEN 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.

En 2023, este laboratorio realizó 350 calibraciones, tanto para usuarios/as externos como internos a la CCHEN, de acuerdo al siguiente detalle: 118 calibraciones sector Investigación, 120 calibraciones sector Industria y 112 calibraciones sector Salud. De estos últimos, 23 detectores corresponden a detectores de uso en medicina nuclear y radioterapia.



Foto 4: Importación de una nueva fuente patrón de Cobalto-60.

El laboratorio importó desde Canadá una nueva fuente patrón de Cobalto-60 para la calibración de dispositivos e instrumental. En diciembre de 2023 se recibió la nueva fuente, cuya actividad nominal es de 508,1 TBq (13.733 Ci en agosto 2023). Fue financiada por la ley de presupuesto.

La correcta calibración de equipos e instrumentos utilizados en radioterapia y medicina nuclear asegura a pacientes que las dosis aplicadas son correctas, y garantizan al personal técnico que las opera que la labor no implica riesgos para su salud y el entorno.

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.

El volumen de desechos radiactivos recibidos en 2023 fue de aproximadamente 3,85 m³, donde el 97,7% corresponde a clientes externos (la mayor parte del sector salud) y un 2,3% proviene de las aplicaciones, investigaciones y desarrollos de la CCHEN.

La distribución, según volumen entregado por tipo de clientes, se presenta a continuación, desglosado entre los años 2021 y 2023. Es posible apreciar que el mayor volumen proviene de hospitales del país.

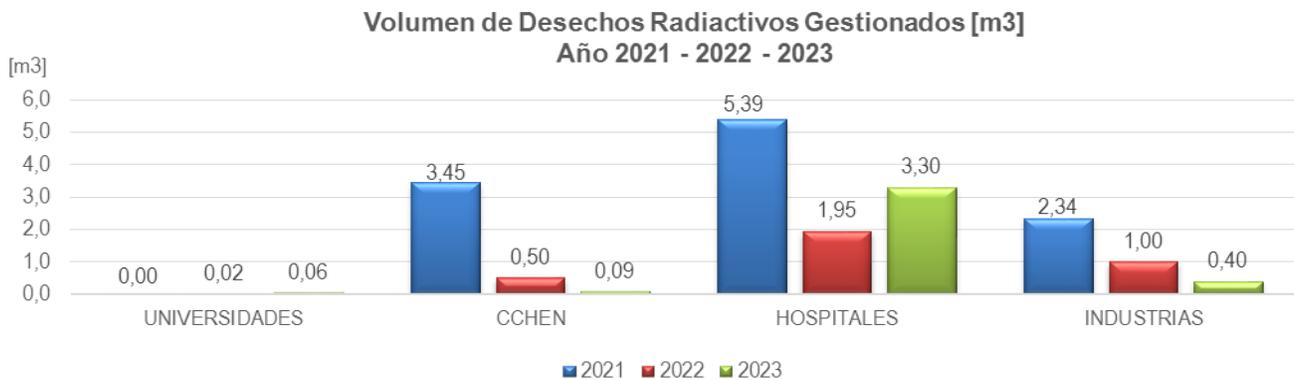


Gráfico 2: Volumen de desechos radiactivos gestionados entre 2021 y 2023.

La gestión de los residuos radiactivos se realizó a partir de la evaluación de 51 solicitudes de servicio provenientes de clientes internos y externos, de las cuales 10 corresponden a generadores dentro de la CCHEN y 41 solicitudes a clientes externos.

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 2023 se realizaron dos asesorías en terreno a instalaciones generadoras de desechos radiactivos y fuentes radiactivas selladas en desuso, entregándoles a los responsables las conclusiones de los análisis, condiciones, recomendaciones y costos para realizar la gestión de sus desechos radiactivos.

Participación en eventos internacionales

- Reunión técnica sobre la iniciativa mundial de gestión del Radio 226 | Viena, Austria | Junio de 2023.**
 Profesional de la Sección Gestión de Desechos Radiactivos presentó estado de fuentes en desuso de Radio 226 del país. El objetivo fue analizar la factibilidad de ejecutar la gestión a nivel mundial de la reutilización de este tipo de fuentes. El evento también brindó una oportunidad para examinar la eficacia de la plataforma establecida en lo que respecta a facilitar el intercambio de información entre los Estados Miembros poseedores de fuentes antiguas de Radio 226 y los Estados Miembros con capacidades e instalaciones de reciclaje adecuadas. También se abordaron las experiencias prácticas y los desafíos en materia de embalaje y transporte de fuentes de Radio 226.
- Curso interregional sobre fuentes de categoría 3 a 5 | Rabat, Marruecos | Julio 2023.**
 Jefe (S) de Sección Gestión de Desechos Radiactivos participó en este curso, realizado en el Centro Nacional de Energía y Técnicas Nucleares de Marruecos, que permitió compartir experiencias y conocimientos sobre los tratamientos de desechos radiactivos y fuentes radiactivas selladas en desuso que se realiza en el Centro Nacional de Energía y Técnicas Nucleares en Marruecos, referente a nivel regional en este tipo de gestión, a cargo de la segregación de desechos compactables, la preparación de tambores con cemento y el desmantelamiento de detectores de humo.
- Reunión regional sobre infraestructuras reguladoras y tecnológicas para la gestión de desechos y fuentes radiactivas selladas en desuso | Bogotá, Colombia | Noviembre - Diciembre 2023.**
 Profesional de la Sección Gestión de Desechos Radiactivos participó en esta reunión para intercambiar experiencias sobre aspectos relacionados con gobernanza, reglamento y organización de los reguladores, además de las capacidades tecnológicas necesarias para la gestión segura de desechos radiactivos de período muy corto, de actividad baja y muy baja, así como fuentes selladas radiactivas en desuso.

Hito

- **Exportación de fuentes selladas en desuso**

En 2022 y 2023, en el marco del proyecto del OIEA "Enhancing Nuclear Security through the Sustainable Management of Disused Sealed Radioactive Sources", se realizaron dos campañas para retirar de Chile 31 cabezales de cobaltoterapia con fuentes de Cobalto-60 y blindaje de uranio empobrecido. Las campañas tuvieron un costo de 10 millones de euros.

Los cabezales estaban almacenados en instalaciones de la Sección Gestión Desechos Radiactivos de la CCHEN, y fueron parte de la tecnología que ha existido en Chile desde la década de 1980, para el tratamiento de cáncer por radioterapia. Ante el cambio de tecnología, por aceleradores lineales, estos cabezales fueron cambiados y gestionados como residuos radiactivos.



Foto 5: Equipo interinstitucional que participó en la campaña de remoción de cabezales de cobaltoterapia.

Esta campaña de remoción de cabezales de cobaltoterapia -la más grande realizada en el mundo- contó con el apoyo de Carabineros de Chile, Dirección General de Aeronáutica Civil, SENAPRED y concesionarias de autopistas. Fue coordinada por el Departamento Servicios de Protección Radiológica de la CCHEN, con apoyo de la Sección Gestión de Desechos Radiactivos, Unidad de Protección Radiológica Ocupacional y División de Seguridad Nuclear y Radiológica.

CCHEN SALUD

Tecnología de Irradiación

En el Laboratorio de Irradiación del Centro de Estudios Nucleares La Reina se realiza el servicio de tratamiento de hemocomponentes, con radiación gamma. Este tratamiento es fundamental para la aplicación funcionalmente segura de hemocomponentes en procedimientos médicos de personas con inmunodeficiencia.

Durante 2023 fueron sometidas a tratamiento 23.535 bolsas de glóbulos rojos, 51.831 bolsas de plaquetas y 8.401 bolsas de aféresis (concentrados). Se atendieron a 66 hospitales y clínicas, donde el 55% fueron cargas de hemocomponentes realizadas por hospitales públicos. También fueron sometidos a tratamiento 904 cargas de productos no sanguíneos, entre los cuales se encuentran tejidos y prótesis dentales.



Foto 6: El Laboratorio de Irradiaciones se ubica en el Centro de Estudios Nucleares La Reina.

CCHEN SALUD

Investigación del efecto de la radiación en la materia viva

Línea de investigación: Estudio del efecto a nivel celular y molecular de las radiaciones ionizantes sobre sistemas biológicos

Proyectos

Las distintas tecnologías generadoras de radiaciones que posee la CCHEN permiten tener un amplio rango de investigación en este campo. Se estudia el efecto tanto de radiaciones pulsadas como continuas, a partir de la experiencia en plasmas, fisión nuclear y fuentes de isótopos, tarea que integra a centros de investigación CCHEN, como CINASB y P²mc, además de áreas clave de la Institución enfocadas en efecto biológico, como dosimetría citogenética y dosimetría interna. Los usos actuales y el potencial de aplicación de estos estudios multidisciplinarios son variados.

El avance en el estudio del efecto de las radiaciones pulsadas es esencial, abordado desde un enfoque multidisciplinario que incluye la dosimetría biológica. Este estudio se suma a las investigaciones en diversos ámbitos relacionados con la fusión nuclear, explorando su potencial tanto como fuente de energía como por su aplicación biomédica futura. Un ejemplo destacado es el fortalecimiento de la capacidad para ofrecer tejidos biológicos en tratamientos médicos, un área clave para el centro CINASB de la CCHEN. Este proyecto culminó en 2023 con la implementación del nuevo Laboratorio de I+D en Tejidos Biológicos, que busca impulsar el desarrollo de la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa. El objetivo es que estos avances se traduzcan en tratamientos más eficaces, oportunos y accesibles para las personas que los necesitan.

- **Proyecto “Caracterización experimental de radiaciones pulsadas y partículas generadas por un dispositivo plasma focus de baja energía y el estudio de sus efectos en la materia”**

Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad (P²mc), en conjunto con las áreas de Dosimetría Interna y Dosimetría Citogenética de la División de Producción y Servicios.

Jefe de proyecto: Dr. José Moreno.

Financiamiento: Fondecyt Regular/ANID.

En 2023 finalizó este proyecto, con el que se investigó el efecto en hemocomponentes, células y algunos microorganismos. El estudio busca encontrar las diferencias con el efecto producido por fuentes continuas, como las fuentes convencionales de radiación gamma. Esta es una línea de investigación colaborativa entre el P²mc de la CCHEN, especializado en física de plasmas y fusión nuclear, y el área de Dosimetría Citogenética.

Publicación:

“Use of a Plasma Focus Device to study pulsed X-rays effects on Peripheral Blood Lymphocytes: Analysis of Chromosome Aberrations”

Journal of Applied Physics

Valentina Verdejo; Analía Radl; Joan-Francesc Barquinero; Jalaj Jain; Sergio Davis; Cristian Pavez; Leopoldo Soto; José Moreno*

<https://doi.org/10.1063/5.0141529>

El análisis citogenético mostró un aumento en todos los tipos de aberraciones cromosómicas después de la exposición a pulsos de rayos X. La distribución de dicéntricos y anillos céntricos estaba sobredispersada después de 5, 10, 20 y 40 pulsos. Además, tras 20 y 40 pulsos se detecta la presencia de cromosomas tricéntricos. Las frecuencias de aberraciones cromosómicas encontradas en este estudio siempre fueron más altas que las frecuencias estimadas de aberraciones cromosómicas utilizando curvas de dosis-efecto publicadas para fuentes de radiación convencionales.

La sobredispersión observada, la elevada eficacia biológica relativa máxima y la presencia de cromosomas tricéntricos a dosis relativamente bajas de exposición (<0,5 Gy) parecen indicar que dosis bajas de rayos X pulsados de baja energía muestran efectos biológicos similares a los de los observados para la radiación de alta LET. Se descubrió que los pulsos de rayos X emitidos por PF-2kJ eran más eficaces para inducir aberraciones cromosómicas, incluso más que las partículas α .

A partir de los logros y nuevas preguntas generadas en esta área de estudio se postula, en 2023, al concurso Fondecyt Regular 2024, "Uso de un dispositivo plasma focus de kilojoule como fuente de radiación pulsada a altas tasas de dosis para estudiar la inducción y reparación del daño del ADN", cuyo objetivo es estudiar inducción y reparación del daño de ADN por exposición a radiación pulsada de plasma focus. Este proyecto fue adjudicado y su ejecución inició en abril de 2024.

- **Proyecto "Estudio del efecto a nivel celular y molecular de las radiaciones ionizantes sobre sistemas biológicos"**

Centro de Investigaciones Nucleares para Aplicaciones en Salud y Biomedicina (CINASB)

Jefa de proyecto: Dra. Ethel Velásquez

Financiamiento: CCHEN

Este proyecto estudia el efecto de la radiación sobre biomoléculas y procesos biológicos relevantes como proliferación y muerte celular, adhesión, migración, invasión y angiogénesis, explorando los mecanismos celulares asociados a estas respuestas. Este conocimiento contribuirá a hacer frente a problemáticas relevantes para la salud pública, como el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas para enfermedades oncológicas y el desarrollo de tejidos funcionales para uso médico.

Gracias a las facilidades del Laboratorio de Radiobiología Celular y Molecular del Centro CINASB, en 2023 los hitos de avance fueron los siguientes:

- Desarrollo de metodología general para evaluación histológica de tejidos humanos, piel y amnios.
- Desarrollo de una metodología general para el mantenimiento y cultivo de líneas celulares humanas.
- Recomendaciones generales para el diseño y desarrollo de ensayos de irradiación en muestras biológicas de origen humano.
- Desarrollo de una metodología general para estudios histológicos y marcadores celulares en muestras biológicas de origen humano.

- **Proyecto "Fortalecimiento de las capacidades de irradiación de tejidos utilizados como soporte en ingeniería tisular para su uso en medicina regenerativa"**

Centro de Investigaciones Nucleares para Aplicaciones en Salud y Biomedicina (CINASB)

Jefa de proyecto: Dra. Ethel Velásquez

Financiamiento: OIEA

El proyecto de cooperación técnica RLA1018, financiado por el OIEA, que culminó en 2023, logró evaluar el efecto de la radiación sobre la estructura tisular, biomoléculas y procesos biológicos relevantes en cáncer y regeneración tisular, como proliferación y muerte celular, adhesión, migración, invasión y angiogénesis, explorando los mecanismos celulares asociados. Los estudios y ensayos se basaron en células de origen humano y la iniciativa, de dos años de duración, incluyó el desarrollo de los protocolos para evaluación de estructura tisular y localización de biomoléculas y protocolos de mantenimiento y cultivo, todo para células de origen humano. A su vez, implementó metodologías para analizar marcadores celulares en muestras de tejidos y células de origen humano in vitro.

CCHEN ENERGÍA

En años recientes, la CCHEN integró una serie de capacidades humanas y tecnológicas para orientarlas en su Centro de Materiales para la Sostenibilidad y la Transición Energética (METS). Por otra parte, una importante iniciativa aprovecha el plasma miniaturizado como fuente de microenergía para satélites, gracias a los conocimientos del Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas Materia y Complejidad (P²mc). Estas iniciativas son parte de los aportes de la CCHEN en materia de desarrollos y usos de la energía.

Materiales para el futuro energético

Línea de investigación: Metodologías de obtención de elementos críticos para la industria energética

- **Proyecto “Recuperación de metales de valor desde relaves mineros de la III y IV región, mediante procesos de lixiviación por agitación”**

Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética (METS)

Jefe de proyecto: Dr. José Hernández

Financiamiento: CCHEN

En 2023, este proyecto culmina con una propuesta de diseño y planificación de un sistema de recuperación electroquímica de hierro y la implementación en laboratorio de un sistema para electro-obtención de hierro desde las soluciones de lixiviación. Con lo anterior, se realizó la marcha blanca de pruebas de electro-obtención del mineral. Se concluyó que la electro-obtención de hierro es técnicamente factible de realizar con las condiciones iniciales planteadas y la celda electroquímica propuesta. Este proceso permitió remover el hierro desde las soluciones de lixiviación como un elemento de valor y así, facilitar los procesos posteriores de recuperación de otros elementos de interés, tales como cobre, aluminio y titanio.

Publicación

“Direct copper recovery from pregnant leaching solutions (PLS), using a custom electrolytic cell, based on reactive electrodialysis (RED)”

Mineral Processing and Extractive Metallurgy

José Hernández (CCHEN) y Jaime Tapia

<https://doi.org/10.1080/25726641.2023.2202011>

Este estudio muestra la factibilidad de recuperar cobre directamente de Soluciones de Lixiviación en Pilas (PLS), mediante la técnica de electrodiálisis reactiva, sin necesidad de extracción con solventes. El proceso de electroobtención de cobre está limitado por la capacidad de transporte de masa del sistema y por impurezas que disminuyen el rendimiento. Para aumentar la selectividad y la tasa de producción de cobre, se desarrolló una celda de electrodiálisis reactiva (RED). La celda contenía cuatro compartimentos, dos membranas de intercambio aniónico y un electrodo bipolar para aumentar la tasa de producción. Esta celda recuperó cobre y ácido sulfúrico en los anolitos. El mejor resultado fue una eficiencia de corriente del 99 % y un consumo de energía específico de 2,11 watt por kilogramo de cobre.

Línea de investigación: Nuevos materiales para almacenamiento y conversión eficiente de energía

Uno de los enfoques en esta temática son los nanomateriales, conocidos porque exhiben nuevas y mejoradas propiedades (superficiales, térmicas, eléctricas, mecánicas, magnéticas, ópticas y/o catalíticas) basadas en sus características específicas tales como tamaño, distribución y morfología, lo que ofrece innumerables

oportunidades para diversas aplicaciones. A su vez, los estudios buscan contribuir al óptimo desempeño de las nanopartículas, con el uso de ionanofluidos como agentes estabilizadores.

- **Proyecto “Implementación de un equipo de sputtering para el desarrollo de ionanofluidos para el almacenamiento y transferencia de energía solar”**

Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética (METS)

Jefa de proyecto: Dra. María José Inestrosa

Financiamiento: CCHEN

El sistema de crecimiento por pulverización catódica (Sputtering) es una de las principales técnicas físicas de depósito de láminas delgadas empleadas en tecnología industrial. Esta técnica consiste en un proceso de bombardeo iónico del material a depositar, denominado blanco, mediante iones procedentes del plasma de un gas mantenido a baja presión. Los iones que forman el plasma son acelerados hacia el blanco mediante un campo eléctrico. En 2023 concluye este proyecto, con positivas conclusiones respecto a la funcionalización de las nanopartículas con los líquidos iónicos, para fines de aplicaciones energéticas. Específicamente, se avanzó en cuatro hitos:

- Depósitos de nanopartículas metálicas sobre líquidos específicos;
- Caracterización de las muestras;
- Análisis de las variaciones de los parámetros tecnológicos dependiente del metal;
- Comparación de propiedades de las mezclas.

Publicación

- **“Tailored Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles for Specific Applications Using a Statistical Experimental Design”**

Heliyon (Cell Press)

María José Inestrosa Izurieta*, Diego Vilches, Julio Urzúa

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21124>

Para este trabajo, se sintetizan nanopartículas de óxido de hierro mediante el método de coprecipitación con cantidades estequiométricas de sales de Fe²⁺ y Fe³⁺ en proporción 1:2 en agua destilada y se eleva el pH mediante la adición de una solución acuosa de amoníaco mediante goteo controlado. Las nanopartículas que precipitan después del tiempo de reacción se filtran magnéticamente y se almacenan en etanol para su posterior análisis. Con un diseño estadístico, se muestra cómo los parámetros de síntesis pueden manipular las propiedades morfológicas, estructurales y magnéticas de las nanopartículas resultantes, ofreciendo muchas posibilidades para adaptar los materiales a una amplia gama de aplicaciones.

- **Proyecto “Caracterización eléctrica de cerámicas electrónicas”**

Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética (METS)

Jefe de proyecto: Dr. Ricardo Ávila

Financiamiento: CCHEN

Esta 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. En 2023, llega a su etapa final, en la que se implementó una técnica, desarrollada en la CCHEN por el investigador jefe, para adquisición de curvas de impedancia versus frecuencia durante una rampa de temperatura, la cual agiliza grandemente este proceso,

y evita los errores asociados a variaciones de temperatura durante mediciones que suponen un valor estable de aquel parámetro.

Los hitos fueron:

- Sintetizado de un Concentrado de Tierras Raras (CTRs): a) Secado en aire hasta sinterización o deterioro; b) Secado en vacío, hasta sinterización o deterioro.
- Estudio de electrolito de Ceria dopada con Samario (Ce:Sm): a) Pruebas de I-V (La curva I-V es una representación gráfica de la relación entre la corriente eléctrica (I) y la tensión (V) para analizar las variaciones) vs. tiempo y temperatura hasta determinar un comportamiento estable; b) Mediciones ZFT de impedancia (Z) vs. frecuencia (F) y temperatura (T).
- Reprogramación de interpolación de ZFTs vs. tiempo, en lugar de vs. temperatura.
- Estudio de límites de confiabilidad de interpolación de ZFTs vs tiempo.

El sentido de este análisis es que, de una medición de corriente versus tensión continua, se puede obtener la resistencia de una muestra bajo condiciones ambientales específicas y en el instante de la medición. Esta última precisión es importante, por cuanto, una vez aplicada la tensión, la corriente a través de prácticamente todo material, cambiará versus tiempo. Por esto mismo, se hace necesario el estudio de la resistencia en su evolución temporal, para lo cual la medición de la corriente alterna bajo excitación a frecuencia variable ofrece una comprensión muy superior a la de una medición en condiciones estáticas.

Con las mediciones obtenidas, se han estudiado las posibles desviaciones de curvas sintéticas de impedancia vs frecuencia, vía interpolación en tiempo o temperatura, de series de mediciones vs. frecuencia, registradas durante una rampa de temperatura. Se observa un acuerdo útil o de gran calidad, en interpolaciones tanto dentro de una misma rampa de temperatura, vía detenciones para estabilizar la temperatura, como al comparar desde una rampa continua, con datos previos a temperatura estable.

Presentaciones en Congresos Internacionales

XLVI International Congress of Theoretical Chemists of Latin Expression | Montevideo, Uruguay | Noviembre 2023. La Dra. Merlys Borges participó en este Congreso, donde realizó la presentación titulada “Expanded five-member porphyrins as hole transport materials for inverted perovskite solar cells”.

CCHEN ENERGÍA

Energía para la Exploración Espacial

Línea de Investigación: Plasma pulsado y potencia pulsada para aplicaciones en energía e industria

- **Proyecto “Propulsor de plasma miniaturizado para nanosatélites CubeSat”**

Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad (P²mc)

Jefe de proyecto: Dr. Leopoldo Soto

Financiamiento: ANID/FONDECYT Regular 2021

En su tercer año de ejecución, se diseñó e implementó un sistema para caracterizar el impulso del propulsor de plasma pulsado, en base de un microsensado de carga. Por un lado, se realizó un experimento para medir el impulso a través de una celda de carga. Dada la relación que existe entre fuerza e impulso, una forma para determinar el impulso es obtener medidas de la fuerza producida por el propulsor de plasma. Uno de los parámetros relevantes que caracteriza un propulsor para satélites es el impulso bit, que corresponde al cambio de momentum del material eyectado por el propulsor.

A su vez, el proyecto desarrolló un modelo para un péndulo de torsión, con el fin de medir el impulso provocado por una chispa de plasmas en expansión. Esta chispa puede ser provocada ya sea por un cañón de plasma o por un láser pulsado enfocado sobre una superficie.

Las capacidades del Centro P²mc en miniaturización y escalamiento para dispositivos de plasma se aprovechan, de este modo, para el objetivo de diseñar y construir un propulsor de plasma pulsado extremadamente miniaturizado, con desarrollo y evaluaciones en laboratorio para estimar las variables de rendimiento de una topología / geometría del propulsor de plasma. Gracias al trabajo conjunto con el Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria (SPEL) de la Universidad de Chile, esta iniciativa se enfoca en la meta de construir un propulsor de plasmas que permita orientar los nanosatélites durante su órbita.

Publicación:

“Design and Stability Analysis of a Digital Automatic Power Control Based on a PI Controller for Laser Drivers”

Machines

José Pedreros, Alex Becerra, Javier Rojas, Cristian Pavez (CCHEN), Marcos Diaz* (U. de Chile).

<https://doi.org/10.3390/machines11050516>

Los diodos láser se utilizan ampliamente en aplicaciones industriales y de investigación en áreas como mediciones, comunicaciones y salud. En la mayoría de estas aplicaciones, se requiere estabilidad en la potencia luminosa emitida. Esto se puede lograr modificando los parámetros internos, como el suministro de corriente, mediante el uso de un control automático de potencia analógico (APC). Esta investigación presenta el diseño y análisis de un controlador láser de retroalimentación (sistema APC digital) basado en un controlador proporcional-integral (PI).

Los resultados muestran que las relaciones propuestas para la ganancia proporcional y el tiempo integral son válidas, logrando la estabilidad de potencia deseada con un desvío inferior al 0,1%.

CCHEN ESTADOS DE LA MATERIA

Plasmas y fusión nuclear

En octubre de 2023 se cumplieron 30 años de investigación en física de plasmas en la CCHEN. La investigación realizada en la CCHEN se centra en el desarrollo y estudio de plasmas continuos de baja temperatura y densidad, de interés para diversas aplicaciones tecnológicas, y de plasmas pulsados de alta temperatura y densidad, caracterizados por un comportamiento complejo fuera del equilibrio y capaz de inducir reacciones de fusión nuclear, formación de estructuras de plasma de alta densidad de energía, haces intensos de corta duración de partículas cargadas y radiación electromagnética en un amplio espectro. El entendimiento de estos fenómenos va acompañado de experiencia en investigación fundamental y aplicada en las áreas de física de plasmas y física estadística, así como también en diseños experimentales, alta capacidad de diagnóstico y análisis de datos.

Líneas de investigación

- Procesos fundamentales, diagnóstico y aplicación de sistemas complejos en estudio de plasmas y radiaciones.
- Fusión nuclear.
- Plasmas pulsados y potencia pulsada para aplicaciones en energía, salud, vida, industria y medioambiente.
- Plasmas de baja temperatura para aplicaciones.

En el marco de cada línea de investigación se abordaron los siguientes proyectos:

- **Proyecto “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: Fondecyt Regular 2019

Este proyecto concluyó en julio de 2023 habiendo cumplido con todos sus objetivos, que apuntaron a dos temas complementarios 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 el dispositivo tipo 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. Se presentó el informe final a la ANID.

Publicaciones

“Use of a plasma focus device to study pulsed x-ray effects on peripheral blood lymphocytes: Analysis of chromosome aberrations”

Autores/as: Verdejo, V., Radl, A., Barquinero, J. F., Jain, J., Davis, S., Pavez, C. & Moreno, J. (2023)

Journal of Applied Physics, 133(16)

<https://doi.org/10.1063/5.0141529>

- **Proyecto “Investigación fundamental en descargas plasma focus de baja energía en un régimen altamente eficiente de producción de neutrones”**

Investigador principal: Dr. Cristian Pavez

Financiamiento: FONDECYT Regular 2021

En la etapa 2023, los resultados más importantes se pueden resumir:

- Se realizó un análisis de la caracterización óptica refractiva de la dinámica del plasma en el Generador Multipropósito (GMP), tanto en la fase axial como radial, así como en la evaluación de la emisión de neutrones en régimen de alta producción y el efecto de los neutrones retrodispersados por el entorno en el sistema de detección, logrando una mayor comprensión de la relación entre la dinámica del plasma y sus estructuras, y la emisión de neutrones.
- Se aplicó el diagnóstico de scattering de Thomson, desarrollado durante las etapas previas del proyecto, y se midió la temperatura del plasma en una Z-pinch y a descargas plasmas focus. Este trabajo se realizó en colaboración con el Grupo de Plasmas de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC).

- **Proyecto “Formulación Bayesiana de Mecánica Estadística para estados estacionarios fuera del equilibrio”**

Investigador principal: Dr. Sergio Davis

Financiamiento: FONDECYT Regular 2023

En los aspectos computacionales de la investigación en mecánica estadística, en colaboración con investigadores e investigadoras de la Universidad Andrés Bello y de la Fundación Ciencia y Vida, se presentó un nuevo algoritmo basado en la estimación Bayesiana para calcular la densidad de estados de sistemas físicos, y con esto en principio las propiedades termodinámicas. También se han estudiado los fundamentos del llamado método Z para la determinación de curvas de fusión en materiales por medio de simulación computacional, estableciendo las bases para demostrar sus principios básicos en términos del modelamiento de la densidad de estados configuracional.

En cuanto a la formulación de una teoría de sistemas termodinámicos fuera del equilibrio y su aplicación a sistemas con interacciones de largo alcance como plasmas, se ha demostrado que la distribución kappa de velocidades en plasmas puede obtenerse a partir del requerimiento de una dependencia lineal entre la energía cinética de una partícula de prueba y la energía cinética de su entorno. Por otro lado, se ha presentado el uso de una herramienta derivadas de las identidades de expectación (teorema de fluctuación-disipación y teorema de variables conjugadas), la cual hemos denominado el procedimiento de Ehrenfest, para el análisis de propiedades dependientes del tiempo en plasmas tipo Vlasov.

Junto a esto, en colaboración con Constanza Farías, estudiante de doctorado en Física de la Universidad Andrés Bello, se ha publicado el trabajo desarrollado en 2022 que muestra 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 $U < 0$). Adicionalmente, se ha demostrado una condición suficiente para que un estado estacionario fuera del equilibrio pueda ser descrito por la teoría superestadística, condición que se expresa en términos del comportamiento de la temperatura inversa fundamental y sus derivadas.

Publicaciones

“A novel Bayesian approach to the computation of the configurational density of states”

Autores: Felipe Moreno, [Sergio Davis](#), Joaquín Peralta, Simón Poblete

Computational Materials Science 228, 112326 (2023)

<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2023.112326>

“Configurational density of states and melting of simple solids”

Autores/a: [Sergio Davis](#), Claudia Loyola, Joaquín Peralta

Physica A 629, 129198 (2023)

<https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.129198>

“Kappa distribution from particle correlations in non-equilibrium, steady-state plasmas”

Autores: Sergio Davis, Gonzalo Avaria, Biswajit Bora, Jalaj Jain, José Moreno, Cristian Pavez, Leopoldo Soto
Physical Review E 108, 065207 (2023)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.108.065207>

“Evaluating the adiabatic invariants in magnetized plasmas using a classical Ehrenfest theorem”

Autores: Abiam Tamburrini, Sergio Davis, Pablo S. Moya
Entropy 25, 1559 (2023)
<https://doi.org/10.3390/e25111559>

“Temperature distribution in finite systems: Application to the one-dimensional Ising chain”

Autor/a: Constanza Farías, Sergio Davis
European Physical Journal B 96, 39 (2023)
<https://doi.org/10.1140/epjb/s10051-023-00509-y>

“A sufficient condition for superstatistics in steady state ensembles” (En revisión)

Autor/a: Constanza Farías, Sergio Davis
J. Phys. A: Math. Theor. (2023)

Conferencias

III International Workshop on Statistical Physics and Interdisciplinary Research

Participan: Carlos Femenías, Sergio Davis, Claudia Loyola y Joaquín Peralta.
Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile | Diciembre 2023

12° Workshop en Química Computacional y Espectroscopía Molecular

“Quantum fluctuation-dissipation identities”, Boris Maulén, Sergio Davis y Daniel Pons
Hippocampus, Viña del Mar, Chile | Noviembre 2023

Primer Congreso Chileno de Física de Plasmas

“Temperatura y su incerteza en plasmas estacionarios fuera del equilibrio”, Sergio Davis, Gonzalo Avaria, Biswajit Bora, Jalaj Jain, José Moreno, Cristian Pavez y Leopoldo Soto
Universidad de Concepción, Concepción, Chile | Noviembre 2023

Primer Congreso Chileno de Física de Plasmas

“Non-equilibrium statistical mechanics tool for the study of space plasma; The Ehrenfest procedure in Earth’s radiation belts”, Abiam Tamburrini, Sergio Davis y Pablo S. Moya
Universidad de Concepción, Concepción, Chile | Noviembre 2023

Primer Congreso Bayesiano Plurinacional

“Probabilidad bayesiana a partir de la estimación plausible de cantidades”, Sergio Davis
Santiago del Estero, Argentina | Agosto 2023

Primer Congreso Bayesiano Plurinacional

“Sistemas frágiles: una formulación bayesiana de la teoría cuántica”, Yasmín Navarrete y Sergio Davis
Santiago del Estero, Argentina | Agosto 2023.

International Conference on Statistical Physics

“Temperature and its uncertainty in nonequilibrium steady state plasmas”, Sergio Davis

SigmaPhi 2023, Chania, Grecia | Julio 2023

International Conference on Statistical Physics

“Temperature distribution in finite systems: Application to the one-dimensional Ising chain”, Constanza Farías y Sergio Davis

SigmaPhi 2023, Chania, Grecia | Julio 2023

International Conference on Statistical Physics

“A statistical approach to diffusion and waiting times in the problem of melting solids”, Vivianne Olguín-Arias, Sergio Davis y Gonzalo Gutiérrez

SigmaPhi 2023, Chania, Grecia | Julio 2023

International Conference on Statistical Physics

“Non-equilibrium statistical mechanics tool for the study of space plasma: The Ehrenfest procedure in Earth’s radiation belts and superstatistics in magnetized plasma”, Abiam Tamburrini, Sergio Davis y Pablo S. Moya

SigmaPhi 2023, Chania, Grecia | Julio 2023

-
- **Proyecto “Estudios sobre el proceso de expansión de plasma térmico supersónico helicoidal para la síntesis de nanopartículas a base de litio para dispositivos de almacenamiento de energía: estudios de viabilidad para llevarlo a escala industrial”**

Investigador principal: Dr. Biswajit Bora

Financiamiento: FONDECYT Regular 2023

En el año 2023 se realizó el diseño de sistema experimental y se llevó a cabo parte de la fabricación de componentes. También, se prepararon muestras en 5 distintas condiciones mediante el método de expansión lineal supersónico de plasma térmico para estudiar los efectos de la corriente de plasma sobre las características de las nanopartículas producidas.

Proyecciones

- Estudios ópticos y calorimétricos de Antorcha de Plasma y expansión de plasma térmico supersónico.
- Instalación y estudios de sistema de boquillas espirales para expansión supersónica helicoidal de plasma térmico y sus características.
- Síntesis de nanopartículas a base de Litio núcleo-cubierta con núcleo ($\text{LiCO}_3/\text{Li}_2\text{S}/\text{Li}_2\text{O}_3/\text{Li}$) y cubierta de carbono con expansión helicoidal de plasma térmico supersónico.

-
- **Proyecto "Research on the effects of pulsed radiation. Development and optimization of a nanosecond pulsed radiation source based on the plasma focus device"**

Investigador principal: Dr. Jalaj Jain.

Financiamiento: FONDECYT-Iniciación.

En 2023 se diseñó un plasma focus de 5kJ y se inició su construcción durante el año, alcanzando un avance del 60%. También, en el marco de este proyecto, se realizó una visita científica en IIT-Tirupati, India.

Publicaciones

“The presence of high-energy neutrons in neutron pulses emitted from a kilojoule plasma focus device: Deuterium as a working gas”

Autores: Jalaj Jain, José Moreno, Hernán Loyola, Sergio Davis, Biswajit Bora, Leopoldo Soto
Physics of Plasmas 30 (10) 2023

Proyecciones

- Puesta en operación de nuevo equipo plasma focus de energía 5kJ.
- Experimentos y análisis de datos de equipo plasma focus.

-
- **Proyecto “Studies of plasma facing materials of interest in nuclear fusion reactors using intense pulsed plasma shock and pulsed laser. Calibration of the damage factor in a table top plasma focus and meaning of the damage factor”**

Investigador principal: Dr. Leopoldo Soto
Financiamiento: CRP-OIEA, contrato 24222

Este proyecto está dedicado a estudiar los efectos de choques intensos de plasma pulsado y láser pulsado sobre materiales de interés en reactores de fusión nuclear. La determinación del umbral de daño de materiales es un tema importante para estudiar diferentes materiales para componentes de reactores de fusión nuclear. El factor de daño es un parámetro práctico que permite evaluar el daño y compararlo con los efectos producidos en diferentes dispositivos experimentales. Los dispositivos de foco de plasma (PF) de sobremesa que funcionan a unos pocos julios son capaces de producir un factor de daño equivalente al esperado en la primera pared de grandes experimentos de confinamiento magnético como ITER y en grandes experimentos de confinamiento. Por lo tanto, los PF son útiles para estudiar componentes sometidos a choques intensos de plasma. Para ello es necesario una calibración adecuada del factor de daño en el equipo PF en cuestión. Para hacer la calibración se ha de comparar el efecto producido por PF's con el producido por un láser pulsado.

En 2023 se continuó con experimentos del efecto de pulsos láser sobre variados materiales y se realizaron experimentos de radiación de materiales usando el equipo plasma focus PF-2kJ. También, se estableció una colaboración con un investigador en ciencia de materiales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y se participó, de manera virtual, en 3rd Research Coordination Meeting of the CRP on Pathways to Energy from Inertial Fusion: Materials Research and Technology Development, realizado en el mes de diciembre.

Participación en eventos nacionales e internacionales

- **48° Escuela Internacional de Física y Problemas Contemporáneos | Nathia Gali, Pakistán | Julio 2023.**
El director del centro P2mc, Dr. Leopoldo Soto, participó como profesor invitado. Esta es una prestigiosa Escuela de Verano fundada hace 48 años por el fallecido físico pakistaní, Premio Nobel de Física, Abdus Salam. El Dr. Soto dictó dos cursos de cuatro sesiones cada uno: "Investigación en Física de Plasmas Densos Usando Dispositivo Pequeños" y "Potencia eléctrica Pulsada para Investigación y Aplicaciones".
- **International Conference on Statistical Physics, SigmaPhi 2023 | Chania, Grecia | Julio 2023.**
Investigadores del Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad, presentaron los siguientes trabajos:

- “Temperature and its uncertainty in nonequilibrium steady state plasmas”.
 - “Temperature distribution in finite systems: Application to the one-dimensional Ising chain”.
 - “A statistical approach to diffusion and waiting times in the problem of melting solids”.
 - “Non-equilibrium statistical mechanics tool for the study of space plasma: The Ehrenfest procedure in Earth’s radiation belts and superstatistics in magnetized plasma”.
- **International Conference on Dense Z-Pinches (DZP2023) | Michigan, USA | Julio de 2023 y Primer Congreso Chileno de Física de Plasmas | Concepción, Chile | Noviembre de 2023.**
 Investigadores del Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad, presentaron los siguientes trabajos:
 - “Observación del efecto de alta LET de la radiación X pulsada, proveniente de un dispositivo plasma focus, con marcadores citogenéticos”.
 - “Explorando regímenes de alta producción de radiación y rápida dinámica del plasma en experimentos de Plasma Focus de baja energía y baja corriente”.
 - “Micro propulsión pulsada con tecnología de plasma foco para aplicación en sistemas de orientación de nanosatélites CubeSat”.
 - “Temperatura y su incerteza en plasmas estacionarios fuera del equilibrio”.
 - “Non-equilibrium statistical mechanics tool for the study of space plasma; The Ehrenfest procedure in Earth’s radiation belts”.
- **Conferencia Mundial de Fusión Nuclear organizada por el Organismo Internacional de Energía Atómica | Octubre 2023.**
 El investigador y director del Centro P2mc, Leopoldo Soto Norambuena, participó en representación de Chile en la Conferencia de Fusión Nuclear del OIEA. En el evento participaron más de mil investigadores e investigadoras del mundo con más de 800 contribuciones. Sólo cinco contribuciones provienen de América Latina. El trabajo presentado por Chile fue “Fusion Studies In Small And Tabletop Devices Based On Scalability Properties Of Plasma Focus And Exploration Of New Operational Regimes”.
- **III International Workshop on Statistical Physics and Interdisciplinary Research (Universidad Católica del Norte) | Antofagasta, Chile | Diciembre 2023.**
 Investigadores del Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad, presentaron los siguientes trabajos:
 - “Correlations in classical, non-equilibrium systems and their connection with temperature”.
 - “Opinion dynamics under external influences”.
 - “Generalized quantum fluctuation-dissipation identities”.
 - “Statistical mechanics of the 2048 game”.
 - “Insights on the microcanonical homogeneous melting mechanism through the use of deep learning algorithms”.

CCHEN ESTADOS DE LA MATERIA

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.

Línea de Investigación: Estudio de propiedades fundamentales de núcleos atómicos de interés en estructura nuclear, astrofísica nuclear y física de reactores nucleares

Esta línea de investigación estudia, mediante experimentos desarrollados en grandes instalaciones, las propiedades fundamentales de núcleos atómicos. Durante el 2023 se realizaron dos actividades relacionadas con los resultados de experimentos desarrollados en el laboratorio japonés RIKEN y el laboratorio ISOLDE en CERN, durante 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).

Cabe señalar, que el tiempo que tarda el análisis de datos, que es el equivalente al desarrollo de una tesis doctoral. Esto se debe a que 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.

Publicaciones

En 2023 fueron publicados estos resultados de experimentos desarrollados en el periodo 2015-2018:

- **“Study Of Decay Properties for Ba to Nd Nuclei Relevant for The Formation Of The R-Process Rare-Earth Peak (A Similar To 160)”**

Autores/as: M. Pallas, A. Tarifeño-Saldivia, G. G. Kiss, J. L. Tain, A. Tolosa-Delgado, A. Vitéz-Sveicz, F. Calviño, J. Agramunt, **P. Aguilera**, A. Algora, J. M. Allmond, H. Baba, N. T. Brewer, R. Caballero-Folch, P. J. Coleman-Smith, G. Cortes, T. Davinso, I. Dillmann, C. Domingo-Pardo, A. Estrade, N. Fukuda, S. Go, C. J. Griffin, R. K. Grzywacz, O. Hall, L. J. Harkness-Brennan, T. Isobe, D. Kahl, T. T. King, A. Korgul, S. Kovács, S. Kubono, M. Labiche, J. Liu, M. Madurga, K. Miernik, **F. Molina**, N. Mont-Geli, A. I. Morales, E. Nácher, A. Navarro, N. Nepal, S. Nishimura, M. Piersa-Silkowska, V. Phong, B. C. Rasco, **J. Romero-Barrientos**, B. Rubio, K. P. Rykaczewski, Y. Saito, H. Sakurai, Y. Shimizu, M. Singh, T. Sumikama, H. Suzuki, T. N. Szegedi, H. Takeda, K. Wang, M. Wolińska-Cichocka, P. J. Woods and R. Yokoyama.

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 ^3He (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 extiende las bases de datos de estos núcleos relevantes en el proceso de captura neutrónica rápida de astrofísica nuclear (r-process). EPJ Web of Conferences 284, 02005 (2023).

- **“Half-life Measurement Using Implant-beta-gamma Time Correlations in the Region of Neutron-rich Lanthanides”**

Autores/as: A. Vitéz-Sveiczzer , S. Kovács , G.G. Kiss , Y. Saito , A. Tarifeño-Saldivi , 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 , R. Krücken, S. Kubonon, Labiche, J. Liu, J. Liang, M. Madurga , K. Miernik, **F. Molina** , A.I. Morales , M.R. 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. Sing, T. Sprouse, T. Sumikama, R. Surman, H. Suzuki, T.N. Szegedi , H. Takeda, A. Tolosa-Delgado, K. Wang, M. Wolinska-Cichocka, P. Woods, R. Yokoyama , Z. Xu.

En este artículo se analizan una serie de núcleos ricos en neutrones en la región de los lantánidos y se obtiene el valor de tiempo de semidesintegración, mediante la técnica de correlaciones temporales entre una señal de implante y su posterior evento beta-gamma en coincidencia. Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement 16, 4-A8 (2023).

- **“The β -decay of ^{71}Kr : Precise measurement of the half-life”**

Autores/as: A. Vitéz-Sveiczzer, A. Algora, G.G. Kiss, B. Rubio, A.I. Morales, P. Sarriguren, G. de Angelis, F. Recchia, S. Nishimura, J. Agramunt, V. Guadilla, A. Montaner-Pizá, S.E.A. Orrigo, Á. Horváth, D. Napoli, S. Lenzi, A. Boso, V. Phong, J. Wu, P. A. Söderström, T. Sumikama, H. Suzuki, H. Takeda, D.S. Ahn, H. Baba, P. Doornenbal, 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, T. Kurtukián Nieto, C. Magron, W. Gelletly, Zs. Dombrádi, Y. Fujita, M. Tanaka, **P. Aguilera**, **F. Molina**, 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.

En este artículo se analiza el núcleo exótico rico en protones ^{71}Kr , utilizando correlaciones temporales entre implantaciones del núcleo padre y sus posteriores señales de desintegración beta. EPJ Web of Conferences 290, 02021 (2023).

- **“Beta decay along the N=Z line and its relevance in rp-process and X-Ray bursts”**

Autores/as: Nacher, E.; Parra, S.; Briz, J. A.; **Aguilera, P.**; Agramunt, J.; Algora, A.; Berry, T.; Borge, M. J. G.; Carmona, M.; Fraile, L. M.; Ganioglu, E.; Gelletly, W.; Guadilla, V.; Illana, A.; Lica, R.; et. al.

En este artículo se analizan los resultados de los experimentos en ISOLDE (CERN) para estudiar la desintegración beta de varios núcleos N=Z y N=Z+2, como ^{64}Ga y ^{64}Ge , utilizando la técnica de Espectroscopía de Absorción Total. Estos resultados proporcionan datos clave para probar modelos teóricos y mejorar las predicciones en entornos estelares. Nuclear Physics In Astrophysics - X, Npa-X 2022 (2023).

Hito

- **Visita Científica a Experimento IS707 en CERN**

En mayo de 2023, el Dr. Francisco Molina participó en el experimento IS707 en el laboratorio ISOLDE del CERN. En este experimento se midió la desintegración beta de los núcleos en torno al ^{186}Hg utilizando el espectrómetro gamma de absorción total LUCRECIA, para determinar coexistencia de formas en la región.

CCHEN ESTADOS DE LA MATERIA

Rayos cósmicos

Línea de Investigación: Estudio de radiación cósmica secundaria en la superficie terrestre conducentes a mejoras en la predicción del clima espacial

Busca estudiar espectro de fondo de neutrones provenientes de rayos cósmicos y su relación con variables como humedad ambiental y de suelo, temperatura ambiental, presión atmosférica, entre otras, para proponer correcciones a medidas de los monitores de neutrones NM-64 de la red mundial de monitores de neutrones.

Proyecto

“Medidas simultáneas de espectroscopía de neutrones provenientes de rayos cósmicos y de variables locales a lo largo de Chile”

FONDECYT. Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), 2022

Jefe de proyecto: Dr. Francisco Molina Palacios

En 2023 se realizaron las siguientes actividades:

- Simulación de funciones respuesta del espectrómetro de neutrones extendido a altas energías. Se simularon las funciones respuesta de detección de neutrones de 25 posibles diseños de moderadores (rango 1 meV-10 GeV) considerando combinaciones de polietileno borado y polietileno de alta densidad y distintas geometrías, obteniendo nuevo conjunto optimizado de 16 detectores del espectrómetro de neutrones.
- Desde 2022, colaboramos con el Instituto Milenio de Física Subatómica en la Frontera de las Altas Energías (SAPHIR) en el desarrollo de preamplificadores, sistemas de adquisición y transferencia de datos. Entre las principales actividades destaca el diseño de electrónica para detectores de neutrones. En 2023, se optimizaron los preamplificadores de carga mediante mejoras en la restauración de polo cero y se inició el desarrollo de un sistema de adquisición capaz de analizar cada señal y transferir los datos a una base de datos. El sistema está diseñado para operar en condiciones climáticas extremas y ubicaciones remotas.
- Medidas de humedad de suelo y posición con estación meteorológica. En 2022 se recuperó y puso en funcionamiento la estación meteorológica portátil RAWS de Campbell Scientific de la CCHEN. En 2023 se adquirieron un GPS Garmin y un sensor de humedad de suelo SOIL VUE 10.

Campañas experimentales 2023:

- **3ª Campaña Experimental: Atacama y Coquimbo**



Foto 7: Campaña experimental en el norte de Chile.

En esta primera campaña del año, se realizaron mediciones durante 72 horas continuas en distintas localidades de las regiones de Atacama y Coquimbo, considerando el Observatorio Las Campanas, Salar de Maricunga, Universidad de Atacama, Desierto de Atacama, Universidad de La Serena y Polo Científico Juan Soldado.

- **4ª Campaña Experimental: Bio-Bio, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos**

En noviembre de 2023 se realizó la segunda campaña experimental del 2023 en las siguientes locaciones: Universidad de Concepción-Región del Biobío, Universidad de la Frontera en Temuco-Región de la Araucanía, Pontificia Universidad Católica de Chile en Villarrica- Región de la Araucanía, localidad de Pupelde en la Isla Grande de Chiloé-Región de Los Lagos y Universidad Austral en Valdivia- Región de Los Ríos.



Foto 8: Campaña realizada en la Universidad de Concepción en la Región del Biobío.

Publicaciones

- En 2023, en colaboración con el Instituto Pushkov de Magnetismo Terrestre, Ionosfera y Propagación de Ondas de Radio de la Academia Rusa de Ciencias, se publicó un artículo titulado “Environmental Monitoring Possibilities Using Cosmic Ray Secondary Components”, donde explicamos fenomenológicamente las variaciones de counting rate de los Monitores de Neutrones en el periodo 2018 - 2023, en relación a las variables locales de acumulación de nieve y precipitaciones.

Autores/as: P. G. Kobelev, L. A. Trefilova, V. G. Yanke, **F. Molina**, **J. Romero-Barrientos** y **M. Zambra**.
Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. Vol. 87, No. 7, pp. 1077–1081.

CCHEN ESTADOS DE LA MATERIA

Espectroscopia gamma y de neutrones

Línea de Investigación: Estudio de espectroscopia gamma y de neutrones, apoyando la investigación fundamental en física de altas energías, ciencias de la tierra, ciencia de los materiales y salud humana

El Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopia de Neutrones de la CCHEN, ha continuado con el estudio de elastómeros dopados con nanopartículas de Bismuto, en particular sus propiedades de blindaje de fotones gamma y rayos X. Con la ayuda del Departamento de Recursos Compartidos de la Comisión, se ha estudiado la atenuación gamma de distintas muestras elastoméricas y polímeros. Durante 2023, bajo el convenio Marco con la Universidad de Concepción se han realizado las siguientes actividades:

Presentación de proyecto FONDECYT Regular del investigador Dr. Héctor Aguilar. En junio de 2023 se presentó al concurso FONDECYT Regular el proyecto “Development of Flexible Materials for Shielding and Moderation of Neutron Radiation Potentially Applied to Leading Edge Technologies”, cuyo investigador principal es el profesor Dr. Héctor Aguilar y como coinvestigador el Dr. Francisco Molina.

Publicaciones

En septiembre de 2023 fue publicado el artículo “Fluorosilicone Composites with Functionalized Graphene Oxide for Advance Applications” en la revista Applied Polymer Materials. ACS Applied Polymer Materials 2023 5 (10), 7755-7765.

Autores/as: Ernesto Águila-Toledo, Santiago Maldonado-Magnere, Mehrdad Yazdani-Pedram, Allan Bascuñán-Heredia, Mohamed Redoine Dahrouch, **Francisco Molina**, Marianella Hernández Santana, Raquel Verdejo, Miguel López-Manchado, Héctor Aguilar-Bolados.

CCHEN ESTADOS DE LA MATERIA

Física de Reactores

Línea de Investigación: Estudio e implementación de procesos con dependencia temporal en simulaciones Monte Carlo aplicadas a reactores nucleares

Esta línea busca investigar e implementar técnicas avanzadas de reducción de varianza en simulaciones Monte Carlo, con el fin de desarrollar herramientas que permitan estudiar sistemas fisibles donde se incluyan procesos asociados a dependencia temporal, tales como regímenes transientes de operación en reactores nucleares tradicionales, emisión de neutrones beta-retardados, transientes de operación en reactores avanzados y de IV generación, y quemado de combustible. Esta línea también posee el potencial de apoyar investigaciones que permitan evaluar la seguridad nuclear referente a la no proliferación en nuevos diseños de reactores nucleares. Durante el año 2023 se realizaron las siguientes actividades:

- Avance de traducción OpenMC(TD) desde Fortran a C++. Durante este año se continuó con la traducción de OpenMC (TD) desde Fortran a C++, en particular, se completaron las pruebas relacionadas con la división del tiempo total de simulación en intervalos, y se comenzaron a implementar las técnicas de reducción de varianza.
- Postulación Fondecyt Iniciación 2024. En el mes de abril se presentó a postulación al Concurso FONDECYT de Iniciación en Investigación 2024 el proyecto “Transient Monte Carlo in a research nuclear reactor with individual beta-delayed neutron precursors and comparison with time-dependent reactor experiments”. El proyecto fue seleccionado para adjudicación, por lo que su ejecución comenzará en marzo de 2024.

Publicaciones

El 3 de febrero, el Nuclear Engineering and Technology, acepta la publicación del artículo “Development of transient Monte Carlo in a fissile system with β -delayed emission from individual precursors using modified opensource code OpenMC (TD)”.

Autores/as: J. **Romero-Barrientos**, F. **Molina**, J.I. Márquez Damián, M. **Zambra**, P. **Aguilera**, F. **López-Usquiano**, S. **Parra**.

CCHEN ECOSISTEMAS, AGRICULTURA Y ALIMENTOS

En el Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables (CTNEV) de la CCHEN se llevan a cabo cuatro líneas de investigación que forman una mirada conjunta para enfrentar la sustentabilidad y sostenibilidad de los ecosistemas en estudio:

- Uso eficiente de los recursos naturales y químicos en sistemas agroclimáticos.
- Efectos fisiológicos y genéticos del uso de radiaciones ionizantes para el mejoramiento de la adaptabilidad de las especies vegetales.
- Inocuidad alimentaria: uso de las técnicas nucleares para el fortalecimiento de la apicultura nacional en el ámbito de la sanidad y el fraude alimentario.
- Geoquímica Ambiental: Evaluación integrada de áreas potencialmente contaminadas mediante el estudio de suelos, agua y aire e impacto en salud pública.

Proyectos

En 2023, las investigaciones se han desarrollado en un marco de trabajo colaborativo con instituciones externas nacionales e internacionales, principalmente universidades, instituciones de investigación y organizaciones como el OIEA. De este modo, se han ejecutado los siguientes proyectos de I+D+i, considerando financiamiento interno y externo a la institución con la finalidad de desarrollar el continuum desde muestreo de matrices, metodologías analíticas y tratamiento de datos para mejorar las capacidades técnicas y de equipamiento, enfocada a una investigación aplicada en los ecosistemas.

Línea 1: Uso eficiente de los recursos naturales y químicos en sistemas agroclimáticos

- **“Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del Impacto Radiológico Ambiental”**

CRP K41022 - Contract number 24744 | Años 2022-2025

Jefa de proyecto: Dra. Adriana Nario

Resultados: Análisis de radionúclidos en los suelos de la zona de la región de Chiu-Chiu, Coquimbo y Región Metropolitana han permitido iniciar la etapa de base de radionúclidos en suelo como es la detección de ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{214}Pb , ^{137}Cs , ^{228}Ac , ^{40}K . A modo de ejemplo, el ^{40}K está presente en todos los cultivos, mientras otros radionúclidos están presentes en menor cantidad. Estos resultados forman parte preliminar de la relación entre radionúclidos, elementos naturales, tipo de suelo, condiciones y manejo de cultivos.

- **“Uso de isótopos estables (^{133}Cs y ^{89}Sr) como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de los radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura”**

CRP D15019 - Contract number 23695 | Años 2019-2024

Jefa de proyecto: Dra. Adriana Nario

Resultados: En 2023 se realizó un estudio en macetas con cuatro tipos de suelos del centro-sur de Chile. Se sembraron semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y se aplicó el isótopo estable ^{133}Cs (similar comportamiento al radioisótopo ^{137}Cs) para determinar su adsorción a las partículas del suelo y calcular la constante de distribución (k_d). Se determinó que la Relación de Concentración de Cesio (RC) del suelo o factor de transferencia hacia la planta de tomate [0,124 - 0,555] es similar a otras encontradas en suelos que han sido impactadas por accidentes nucleares. Este conocimiento contribuirá a la base de datos para establecer medidas de prevención o remediación contra la contaminación del suelo por radionúclidos.

- **“Dinámica del boro en cerezo como respuesta a tres niveles del elemento en suelo y efecto sobre calcio”**
Convenio PUC-CCHEN | Años 2019-2024
Jefa de proyecto: Dra. Adriana Nario M.

Los resultados iniciales han determinado que cuando el suelo tiene una deficiencia severa de Boro, se recomienda aplicar una dosis de Boro inicial con efecto correctivo al suelo en vez de una aplicación foliar. Luego es posible continuar principalmente con aplicaciones de B en flores en plena floración.

- **“Effect of N fertilization amount and form (NH₄⁺ or NO₃⁻) on Ca nutrition of blueberry (Vaccinium corymbosum L.) in Andisol soils of Southern Chile”**
Fondecyt Regular 1231665 | Años 2023 - 2026
Co-directora de proyecto: Dra. Adriana Nario M.

Resultados: En septiembre y octubre se realizaron aplicaciones de amonio y nitrato, como fuente de nutriente nitrogenado, donde mediante el uso de la técnica isotópica ¹⁵N a.e, se busca evaluar el impacto en el establecimiento inicial de plantas de arándanos en la Región de la Araucanía (hoy en proceso analítico).

Línea 2: Efectos fisiológicos y genéticos del uso de radiaciones ionizantes para el mejoramiento de la adaptabilidad de las especies vegetales

- **“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”**
FIC Regional Biobío | Años 2022-2024.
Director/a de proyecto: Daniel Villegas N. y Doris Ly M.

Resultados:

- Se determinó la dosis letal 50 para Quillaja saponaria: 114 Gy.
- Se realizaron ensayos de germinación con semillas irradiadas.
- Se desarrollaron ensayos de sobrevivencia de Eucalyptus globulus y Quillaja saponaria en invernadero.
- Se establecieron en terreno plántulas de Eucalyptus irradiadas con distintas dosis para su evaluación en el tiempo.

- **“Fortalecimiento del uso de técnicas nucleares en programas de mejoramiento vegetal”**
CHI5054 | Años 2022-2023.
Director de proyecto: Daniel Villegas N. y Doris Ly M.

Resultados

- Se realizó curso nacional "Métodos de screening de tolerancia a estrés hídrico en cultivos", dictado por el experto Dr. Javier Rinza. Santiago, Mayo 2023. Participaron más de 20 personas de diferentes instituciones del área de interés (INFOR, Escuela de Agronomía PUCV, CEAF y CTNEV).
- Se dictó seminario “Presente y Futuro de las Herramientas Nucleares Aplicadas en Fitomejoramiento”, con la exposición de investigadores e investigadoras de las tres instituciones involucradas en el proyecto. Quillota, octubre 2023.
- Visita experto Dr. Rodomiro Ortiz a la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) en Quillota, CEAF en Rengo y CCHEN en Santiago, noviembre de 2023. El principal tema que se abordó fue el diagnóstico de la necesidad país de contar con programas de formación continua en fitomejoramiento vegetal.

Línea 3: Inocuidad alimentaria: uso de las técnicas nucleares para el fortalecimiento de la apicultura nacional en el ámbito de la sanidad y el fraude alimentario

- **“National Reference System for Verification of Authenticity and Determination of Origin of Food using Nuclear Isotopic Techniques”**

CHI5053 | Años 2022-2023

Director de proyecto: Enrique Mejías B.

Resultados

- Se realizó beca de especialización mediante el curso de entrenamiento “The use of stable isotope techniques to determine food honey authenticity – IRMS”.

El curso consistió en el entrenamiento en técnicas isotópicas para la detección de alimentos fraudulentos enfocado en el estudio de la matriz miel. En ese sentido, el trabajo comenzó con la 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 la obtención de proteínas presentes en la composición de la miel con el fin de establecer las razones isotópicas de estos compuestos en las muestras analizadas. Los procedimientos incluyeron el uso de equipos tales como centrífugas, y estufas de secado entre otros accesorios de laboratorio.

De igual manera, la segunda parte del curso consistió en el entrenamiento en el uso y aplicaciones del equipo IRMS-EA Elemental Isoprime Vision Vario Pyro Cube y del software respectivo. 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 del equipo tales como establecer los parámetros adecuados para el Background Scan, Peak Centre, Stability and Linearity. Finalmente, el trabajo realizado permitió analizar 27 muestras de mieles chilenas.

Línea 4: Geoquímica Ambiental: Evaluación integrada de áreas potencialmente contaminadas mediante el estudio de suelos, agua y aire e impacto en salud pública

- **“Evaluación de los efectos de los metales pesados y otros contaminantes en los suelos contaminados por actividades de origen antropógeno y natural”**

RLA5089 | Años 2022-2025

Directora de proyecto: Ana Valdés

Resultados: Se lleva a cabo el curso internacional en toma y preparación de muestras de suelos potencialmente contaminados, liderado por la Dra. Ana Valdés Durán. Este curso fue realizado en mayo de 2023, en las dependencias de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago, Chile. Fue la oportunidad de preparar en el uso de instrumentación de muestreo de suelos a profesionales representantes de los países de la Región Latinoamericana participantes del proyecto regional, donde se acordó un protocolo unificado de muestreo.

- **“Sources and atmospheric dynamics of total gaseous mercury and particle bound heavy metals in a mega-industrial area in central Chile”**

Fondecyt, ANID | Años 2022-2024

Co-Investigadora: Ana Valdés

Resultados: Este proyecto es liderado por el investigador Richard Toro de la Universidad de Chile, donde la Dra. Valdés participa como co-investigadora. La principal contribución en este estudio es la aplicación de herramientas analíticas nucleares para determinar las contribuciones naturales y/o antrópicas para la determinación de la contaminación de mercurio (Hg) y otros metales y metaloides.

- **“Innovación integral de evaluación/exposición a contaminantes”**

(FIC Regional Aysén)

(Años 2022 - 2025)

Co-Investigadora Ana Valdés

Resultados: El procesamiento de datos de los principales resultados obtenidos en el marco de este proyecto fueron clave para elaborar la primera línea base de suelos de Coyhaique y sus alrededores. En conjunto con los datos obtenidos de material particulado respirable de la misma área de estudio, se espera establecer los niveles de contaminación en el área de estudio y hacer una trazabilidad del origen de los contaminantes.

- **“Análisis de humedales/bofedales. Estudios de isótopos radioactivos antrópicos en suelos y sedimentos”**

CTNEV-CTBTO | Años: 2023-2026

Directora de proyecto: Ana Valdés

Resultados: Elaboración de propuestas y antecedentes preliminares sobre ecosistemas de humedales y bofedales. Trabajo en colaboración con el Dr. Christian Creixell y la Dra. Cristina Dorador.

Publicaciones

Línea 2: Efectos fisiológicos y genéticos del uso de radiaciones ionizantes para el mejoramiento de la adaptabilidad de las especies vegetales

- **“Efecto de diferentes dosis de radiación gamma en una plantación recién establecida de Eucalyptus nitens en la Región del Biobío”**

Autores/as: Patricio Rojas, Jorge González, María Molina Brand, Laura Koch, Tamara Vega, Ethel Velásquez, Daniel Villegas, Doris Ly, Eulogio de La Cruz, Josefina González.

Ciencia & Investigación Forestal. 29(1): 45-54. 2023.

<https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.581>

- **“Uso potencial de radiaciones ionizantes para inducir mutagénesis en el desarrollo de nuevos cultivos ornamentales a partir de especies nativas de Chile”**

Autores/as: Doris Ly, Pablo Morales, Daniel Villegas.

Ornamentales Nativas de Latinoamérica: Notas de Divulgación Científica. 2023.

Eds. Facciuto G., Soto S. Instituto de Floricultura. 107 p. ISBN 978-631-00-1996-3

- **“Use of Low-dose Gamma Radiation to Promote the Germination and Early Development in Seeds”**

Autores/as: Villegas D, Sepúlveda C, Ly D.

Seed Biology - New Advances. IntechOpen. 2023.

<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.1003137>

Línea 3: Inocuidad alimentaria: uso de las técnicas nucleares para el fortalecimiento de la apicultura nacional en el ámbito de la sanidad y el fraude alimentario

- “A new approach to detecting sugar syrup addition to honey: Stable isotope analysis of hexamethylenetetramine synthesized from honey monosaccharides (fructose and glucose)”

Autores/as: Li A, Abraham A, Islam M, Mejías E, Hafizati Abdul Halim N, Frew R, Vlachou C, Kelly SD.

Food Chem. 2024 Feb 15;434:137451.

Epub 2023 Sep 14. PMID: 37748289

doi: 10.1016/j.foodchem.2023.137451

Presentaciones en Congresos Nacionales

Ana **Valdés**, Josefa Velásquez, Daniela Garrido, Mónica Antilén. Especiación de arsénico en la zona central. Oral. XVI Congreso Geológico Chileno. 26 Noviembre - 1 Diciembre, 2023. Santiago, Chile.

Ana **Valdés**, Richard Toro, Manuel Leiva, Luis Sánchez, Tomás Claramunt, Javier Ramírez, J. Luis Navarro. Variabilidad espacio-temporal a largo plazo, de la composición elemental de arsénico en material particulado, en el entorno del complejo industrial Las Ventanas. XVI Congreso Geológico Chileno. Oral. 26 Noviembre - 1 Diciembre, 2023. Santiago, Chile.

Presentaciones en Workshop y Congresos Internacionales

- Adriana **Nario**, Gerardo Arredondo, Claudia Bonomelli, Ximena Rojas, Carolina Marcial. Boron (^{10}B) application to soil and flower in Cherry trees at the central valley of Chile: Preliminary results. Oral. Conference on 100 Years of Results on Boron Research in Plants. University of Hohenheim, Stuttgart, 22-23 September 2023, Germany.
- Adriana **Nario**. Póster Using nuclear techniques to evaluate climatic changes on agriculture management and in hence honeybee production. 48° Congreso Internacional APIMONDIA. 4-8 Septiembre. Santiago, Chile.
- Poulette Blanc, Adriana **Nario**. Kd and CR determination of ^{133}Cs for Chilean Soils. Oral. The Workshop on signature of Man-Made Isotope Production (WOSMIP). 4-7 Diciembre, 2023. Santiago, Chile.
- Daniel **Villegas**, Doris **Ly**. Póster Novel strategy for melliferous native species plant breeding program using nuclear techniques: radiosensitivity on Quillay. 48° Congreso Internacional APIMONDIA. 4-8 Septiembre. Santiago, Chile.
- Ana **Valdés**, Christopher **Celis**, Marcos Tassano. Póster Potential Studies of Radioactives Elements in Soils and Sediments. The Workshop on signature of Man-Made Isotope Production (WOSMIP). 4-7 Diciembre, 2023. Santiago, Chile.
- Ana **Valdés**, **Mejías E**. The Salars of Northern Chile, vulnerable surrounding ecosystems and impact on sustainable beekeeping. Poster. 48° Congreso Internacional APIMONDIA. Poster 4-8 Septiembre. Santiago, Chile. 4-8 Septiembre. Santiago, Chile.
- **Mejías E**. Chemometrics and Physicochemical properties of Chilean honeys produced from native species in the Rancho Lake Zone (Los Rios Region). 48th APIMONDIA – International Apicultural Congress. Santiago, Chile.
- Sandoval A., Acevedo C., **Mejías E**. Design and development of an effective communication strategy for the promotion of honey consumption in Chile. 48th APIMONDIA – International Apicultural Congress. Santiago, Chile.
- Garrido T., **Mejías E**., Mendoza J. Lagos P. Monitoring of organic contaminants in honey and soils in southern Chile. 48th APIMONDIA – International Apicultural Congress. Santiago, Chile.
- **Mejías E**., **Gomez C**., **Garrido T**. Ionizing irradiation treatments for removing spores of *Paenibacillus* larvae preserving biological natural properties of Chilean honeys. 48th APIMONDIA – International Apicultural Congress. Santiago, Chile.

- **Mejías E**, Kelly S., Gras N. Stable Isotopic Techniques for the determination of authenticity in honey: implementation and validation of the analytical method in Chilean honeys. 48th APIMONDIA – International Apicultural Congress. Santiago Chile.

CCHEN LITIO

Control Regulatorio en el Litio



Foto 9: Rol regulador del litio de la CCHEN.

La CCHEN tiene como función regulatoria el control de ventas del litio, materia en la que el país aprovecha nuestra experiencia y conocimiento especializado. 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.

Autorizaciones otorgadas

Cantidad de Resoluciones que indican autorizaciones otorgadas por la CCHEN para la venta de litio en 2023.

Tabla 5: Plataforma Control Venta de Litio (febrero 2024)

EMPRESA	CANTIDAD SOLICITUDES	RESOLUCIONES
SQM Salar	2823	28
ALBEMARLE	981	17
Cominor	2	6
Summit Nanotech	2	2
Codelco	0	1

- Consumo efectivo de cuota de litio por empresa, año 2023.

Tabla 6: Plataforma Control Venta de Litio (febrero 2024)

EMPRESA	Consumo LME Año 2023 LME (Ton)
SQM Salar	31.203,00
ALBEMARLE	10.191,96
Cominor	0,228
Summit Nanotech	0,004
Codelco Maricunga	0

- 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 232.267,750 toneladas de litio metálico extraído (LME). El detalle por año y producto

se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7: Plataforma Control Venta de Litio (febrero 2024).

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
2023	24.528	2.871	3.804	0,537	31.203,00
Total					232.267,750

El consumo de la cuota del Acuerdo N° 801/1980 y sus modificaciones de la empresa Albemarle es 145.698,095 toneladas de litio metálico extraído (LME). El detalle por año y producto se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8: Plataforma Control Venta de Litio (febrero 2024)

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
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
2023	10.190			1,704	10.191,96
Total					145.698,05

El consumo de la cuota de Acuerdo N°2032/2013 de la Empresa Cominor Ingeniería y Proyectos S.A es de 0,228 Ton de LME de muestras de salmueras, tal como se muestra en la siguiente en la siguiente tabla:

Tabla 9: Plataforma Control Venta de Litio (febrero 2024)

Año/ Producto	LIS	Total (Ton de LME)
2023	0,228	0,228

El consumo de la cuota de Acuerdo N°2424/2022 de la empresa Summit Nanotech Chile Spa es 0,004 toneladas de LME de muestras de salmueras, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10: Plataforma Control Venta de Litio (febrero 2024)

Año/ Producto	LIS	Total (Ton de LME)
2023	0,004	0,004

Tabla 11: Acuerdos del Consejo Directivo en 2023 en torno al tema Litio

Acuerdo Consejo	Solicitante	Resumen
Acuerdo 2429	Albemarle Ltda.	Autoriza a Albemarle Ltda. para la producción y venta de productos de litio.
Acuerdo 2434	ENEL Green Power Chile S.A.	Aprueba solicitud de empresa Enel Green Power Chile S.A, para exportar a empresa Geo40 de Nueva Zelanda la muestra de solución de salmuera de aproximadamente 30,42 kg.
Acuerdo 2446	SQM Salar S.A.	Aprueba solicitud de SQM Salar S.A para enviar muestras con fines de carácter técnico a empresa Summit Nanotech Chile SpA por 168 m ³ de salmuera.
Acuerdo 2448	Empresa Nacional de Minería	Aprueba solicitud de exportación realizada por ENAMI, para que, por sí o a través de la empresa CMC Lithium Corp., pueda exportar a empresa Sunresin New Materials Co. Ltd, ubicada en Salta, Argentina, una muestra de solución de salmuera de aproximadamente 2 m ³ .
Acuerdo 2450	Codelco	Resuelve solicitud de extensión de plazos establecidos en el Acuerdo de Consejo Directivo CCHEN N° 2224/2017.
Acuerdo 2451	Quiborax S.A.	Autoriza a QUIBORAX S.A. para efectuar pruebas de procesamiento del litio encontrado en sus rípios que sean necesarias y conducentes para determinar si es técnicamente explotable.
Acuerdo 2452	Sociedad Contractual Minera Copiapó	Autoriza a empresa a producir y enviar muestras de productos de litio a sus clientes/mandantes tras la aplicación de técnicas en desarrollo.

CCHEN LITIO

Comités, Normas y Reuniones en relación al tema Litio

Comité Técnico ISO/TC 333 Litio

Chile participa en el Comité Técnico ISO/TC 333 Litio, cuya contraparte principal a nivel nacional es el Instituto Nacional de Normalización, que articula el enlace con ISO. Producto del trabajo del INN, se estableció la implementación del comité espejo chileno, que hoy trabaja en métodos de análisis químico y en temas de sustentabilidad. Su propósito es que expertos y expertas nacionales participen en el estudio de estas Normas Internacionales; de ahí que es integrado por diversos representantes del mundo público, privado y académico.

Además, Chile, a través de INN, presentó a ISO/TC 333, tres trabajos sobre estandarización de normas a nivel nacional que se están desarrollando para ser propuestas de trabajos base para el desarrollo de los futuros estándares ISO. Se trata de la determinación de impurezas en Carbonato de Litio, Hidróxido de Litio y Cloruro de Litio, a través de la técnica analítica ICP-OES. Derivado de ello, se establecieron siete Grupos de Trabajo y, dentro de cada grupo, se conformaron Grupos de Estudios, que tratan un tema en particular.

Un profesional de la CCHEN participa activamente en dos Grupos de Estudio relacionados con “Determinación de impurezas en Hidróxido de Litio (ISO 16423)” y “Determinación de impurezas en Carbonato de Litio (ISO 11757)”, y además es convocante del grupo de trabajo en el tema de “Análisis Químico de Cloruro de Litio” (ISO 16398). Una vez al año, y para discutir los avances y programar la forma de trabajo, se realizan reuniones presenciales de los/as convocantes y de los/as representantes de las instituciones ligadas a ISO.

Comité Técnico ISO/TC 333 Litio en China

En noviembre de 2023, tuvo lugar en Beijing, China, la reunión anual del Comité Técnico ISO/TC 333 Litio, que contó con la participación de Manuel Escudero Vargas, encargado de Aseguramiento de la Calidad, de la CCHEN. Este Comité está compuesto por un total de 33 países miembros de ISO y de estos, 20 participan en forma activa, y 13 como países observadores. Su programa de trabajo incluye terminología, condiciones técnicas de entrega para superar las dificultades de transporte, métodos unificados de prueba y análisis para mejorar la calidad general de los productos de litio.



Foto 10: CCHEN presente en reunión anual del Comité Técnico ISO/TC 333 Litio en China.

Reunión de coordinación CORFO-CCHEN

Se establecen reuniones periódicas para resolver:

- Incidentes asociados a la operación de la plataforma de control de venta de litio, relacionadas con el ingreso de los datos para la generación de resoluciones, revisión de información, reportes y creación de nuevos usuarios.
- Apoyar la Administración de la Plataforma.
- Desarrollo de nuevas funcionalidades relacionadas como la cuota de extracción de empresas.
- Solicitar respaldo periódico de base de datos de la Plataforma Control Venta de Litio.

En 2023 se tramitaron un total de cincuenta y cuatro Resoluciones (54), se registraron tres 3 empresas con sus respectivos usuarios y se realizaron ajustes correctivos que permitieron optimizar y mantener la continuidad operacional de la Plataforma Control Venta Litio, además, en el periodo se solicitó al administrador de la plataforma (Corfo) el respaldo de la base de datos y la implementación del módulo de extracción de salmueras. Ambas actividades fueron programadas para el año 2024.

CCHEN LITIO

Investigación y Desarrollo

En años recientes ha habido un incremento en el interés por desarrollar tecnologías de vanguardia para la extracción de litio en forma directa. Cabe hacer presente que estas tecnologías se están desarrollando en diversas partes del mundo, buscando transitar a sistemas que resulten más eficientes y productivos que los tradicionales. Se persigue una mayor sustentabilidad, fundada en la reducción del uso de agua dulce durante la extracción, lo que, junto a la mayor rapidez de la faena, contribuye a reducir la huella de carbono del proceso de recuperación de litio y a permitir la devolución de salmueras a las napas subterráneas, con un mínimo de cambios químicos.

En la CCHEN aportamos a estos esfuerzos de investigación, mediante el desarrollo de dos proyectos:

Línea de Investigación: Metodologías de obtención de elementos críticos para la industria energética

- **Proyecto “Desarrollo de un sistema de nanohidrometalurgia magnética para la obtención de salmueras de litio de alta pureza”**

Investigador Principal: Dra. María José Inestrosa.

Financiamiento: CCHEN.

En esta línea, durante 2023, se avanzó en el control de la pasivación de las nanopartículas magnéticas y su caracterización. De igual modo, comenzaron las primeras pruebas de su funcionalización con líquido iónico extractante, para la purificación dual de magnesio y boro desde salmueras de litio.

- **Proyecto “Sistema de extracción simultánea de magnesio y boro para la obtención de salmueras de litio de alta pureza utilizando un nuevo líquido iónico como extractante”**

Investigador Principal: Dr. Julio Urzúa.

Financiamiento: ANID.

En esta última línea, durante 2023, se avanzó en la síntesis y caracterización de un nuevo extractante, para mejorar el porcentaje de eficiencia de extracción. Luego de múltiples ensayos de extracción y modificación estructural de los extractantes, se concretó el medio de extracción que se optimizará para la purificación dual de magnesio y boro desde salmueras de litio, lo que se desarrollará en 2024.

CCHEN RECURSOS TECNOLÓGICOS

El Reactor de Investigación RECH-1

En 2023, gracias a un proyecto de 1.060.000 euros, donde el OIEA aportó 800.000 euros y la diferencia fue financiada por la ley de presupuesto, se inicia el cambio completo de instrumentación de control del RECH-1. El proyecto apunta a la modernización del complejo sistema que permite operar la instalación de manera segura y confiable.

Con esta actualización se está apoyando, además, la posibilidad de introducir nuevos usos de esta instalación nuclear en las mejores condiciones de seguridad de la operación; entre otros, preparando una futura instalación de neutrografía para ensayos no destructivos de componentes industriales.

Otro mejoramiento destacable del período ha sido la renovación de la planta de desmineralización de agua para su uso en la piscina del reactor, con un cambio de tecnología con base en la tecnología de osmosis inversa.

Respecto de su operación anual y rutinaria, en el RECH-1 se operó un total de 46 ciclos de funcionamiento durante 2023. De este modo, se irradió un total de 751 cápsulas; de las cuales 647 fueron para el Departamento de Producción de Radiofármacos de la CCHEN, donde se elaboran los productos demandados por la medicina nuclear del país; 65 para investigación, de las cuales 35 son para el Laboratorio de Análisis de Activación Neutrónica de la CCHEN; 31 para externos, tanto empresas privadas como públicas, en este último caso para Sernageomin en datación geológica; y 8 muestras para uso interno del reactor.

Participación en conferencias

- **Conferencia Europea de Reactores de Investigación | Amberes, Bélgica | Abril 2023.**
Profesionales y Memorista del Departamento de Reactores de Investigación y Combustible Nuclear presentaron en formato póster el trabajo: “Design Optimisation of Fuel Assemblies for RECH-1 Chilean Research Reactor”.
- **Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales | Viña del Mar, Chile | Noviembre 2023.**
Profesionales del Departamento de Reactores de Investigación y Combustible Nuclear presentaron el trabajo: “Estudio de propiedades mecánicas de polímeros después de irradiación”.

CCHEN RECURSOS TECNOLÓGICOS

Recursos Tecnológicos Compartidos

El Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos integra el Laboratorio de Caracterización Química (LCQ), Laboratorio de Caracterización Física (LCF), Laboratorio de Caracterización Química Convencional (LCQC), Laboratorio de Isótopos Ambientales (LIA) y Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN). Brindan respaldo a investigaciones realizadas por la CCHEN y sus asociados, mediante la aplicación de técnicas y conocimientos científicos.

Tabla 12: Servicios de apoyo a la investigación generan 19.080 determinaciones analíticas en 2023

LABORATORIO						
	LCQ	LCF	LCQC	LIA	LAAN	TOTAL 2022
N° Ordenes de trabajo	91	2	20	2	12	127
N° Muestras ingresadas	568	2	762	46	260	1.638
Total determinaciones	15.589	6	2.271	160	1.054	19.080

En 2023 destaca el acuerdo de colaboración entre el Laboratorio de Isótopos Ambientales (LIA) y el Laboratorio de Análisis Isotópico (LAI-UNAB) de la Universidad Andrés Bello de Viña del Mar, que resultó en la validación de los estándares del laboratorio y la realización de mediciones de muestras.

El laboratorio LIA también forma parte de la Red de Monitoreo de Precipitaciones, programa internacional coordinado por el OIEA y la Organización Mundial de Meteorología (OMM), que busca mantener un registro anual actualizado de datos isotópicos de precipitación a nivel mundial, con la participación activa de Chile. Esta valiosa información se utiliza en estudios hidrogeológicos, oceanográficos e investigaciones relacionadas con el cambio climático y el calentamiento global.

En el marco de esta iniciativa se llevó a cabo un exhaustivo monitoreo de precipitaciones para proporcionar datos de Chile al GNIP (Global Network for Isotopes in Precipitation). Se determinó el contenido isotópico de deuterio y oxígeno-18 en muestras mensuales de lluvia recopiladas de las Estaciones Meteorológicas de Chile ubicadas en Quinta Normal, Santiago, Isla de Pascua, La Serena, Puerto Montt y Punta Arenas. Además, se enviaron datos de contenido de Deuterio y Oxígeno 18 en lluvias al Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para su inclusión en el Anuario de Estadísticas Medioambientales.

En el segundo semestre de 2023, y gracias al aporte del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, el Departamento adquirió equipamiento para las capacidades analíticas de sus laboratorios y el capital humano y actualizar a colaboradores/as en el manejo de estos equipos. Entre los equipos adquiridos se encuentran un Cromatógrafo Líquido de Alta Resolución, un Espectrómetro de Absorción Atómica, un Calorímetro Diferencial de Barrido y un Espectroscopio Infrarrojo por Transformada de Fourier.

La participación del Departamento en programas de Intercomparación en 2023 incluyó cinco programas de Ensayo de Aptitud organizados por el OIEA, Aduanas, Universidad Católica del Norte, Instituto Nacional de Normalización y la Red de Reactores de Investigación de América Latina y el Caribe. Estos programas son de alto valor para asegurar y mantener los estándares de las determinaciones analíticas.

CCHEN APOYO A LA INDUSTRIA

Irradiación de alimentos

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.

La industria alimentaria cuenta, desde hace más de 40 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 2023, se procesaron 698 toneladas de alimentos y 82 toneladas de productos no alimenticios en esta planta. La mayor cantidad de productos procesados del área de alimentos fueron los alimentos congelados, como camarones, langostinos y salmones, así como también especias, incluyendo pimentón, orégano, ajo molido, cebolla molida, linaza y hierbas diversas.

Entre los productos del área no alimentos se han tratado cremas, viruta de álamo, sales exfoliantes, polvos de extintores para quirófanos, talco e insumos médicos.

En el período la Planta de Irradiación Multipropósito atendió 74 clientes.



Foto 11: Planta de Irradiación Multipropósito de la CCHEN.

CCHEN APOYO A LA INDUSTRIA

Servicios de Análisis Radiológicos

Los servicios de análisis radiológico ambiental también contribuyen a los procesos industriales. Estos servicios se otorgan a clientes externos que requieren realizar caracterización radiológica en varios tipos de muestras y matrices, entre ellas de agua, alimentos y aditivos alimenticios, combustible alternativo, lodos, chatarras, etc.

En 2023 la CCHEN ejecutó los siguientes servicios de análisis radiológicos:

- 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 CCHEN.

En 2023, 44 instituciones externas solicitaron 597 análisis de distinto tipo, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 13: Tipos de análisis solicitados en 2023.

Análisis Radiológico	Cantidad de Muestras
Norma Chilena para Agua Potable (NCh409/1)	420
Muestras de frotis y test de hermeticidad	27
Caracterización radiológica	12
Certificación	103
Sr-90	35

En los últimos 10 años, la CCHEN ha realizado 6.982 servicios de análisis radiológico a clientes que requieren caracterización radiológica de muestras.

Tabla 14: Resumen de análisis solicitados en los últimos 10 años.

Análisis radiológico	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Norma Chilena para Agua Potable (NCh409/1)	271	239	303	305	398	315	202	268	240	420
Muestras de frotis y test de hermeticidad	62	24	62	37	50	22	50	33	8	27
Caracterización radiológica	20	52	31	11	14	1389	982	18	18	12
Certificación	87	38	80	93	108	80	112	84	85	103
Sr-90	4	5	8	25	46	22	25	46	13	35
Total anual	444	358	484	471	616	1828	1371	449	364	597

CCHEN APOYO A LA INDUSTRIA

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 120 calibraciones de detectores durante 2023.

Tabla 15: Calibraciones DRMI por sector (2019 al 2023)

Año	Calibraciones Empresas Sector Industrial	Calibraciones Empresas Sector Salud – Hospitales/Clinicas	Calibraciones Empresas Sector Universidades-CCHEN	Total
2019	177	77	82	336
2020	165	106	97	368
2021	172	102	107	381
2022	131	90	80	301
2023	120	105	114	339
Total periodo	765	480	480	1725

CCHEN PATRIMONIO CULTURAL

La CCHEN ha continuado el desarrollo de procesos que permiten implementar aplicaciones especializadas en análisis de materiales que requieren ser preservados, debido a su importancia cultural y/o artística.

En 2023 se ha colaborado con el Centro Nacional de Conservación y Restauración (CNCR) para la preservación de un fardo funerario que contiene un cuerpo momificado de la cultura Topater, originaria de la zona de Calama. Este trabajo fue llevado a cabo por profesionales de la Instalación Nuclear Planta de Elementos Combustibles, del Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre, utilizando para ello equipamiento especializado que permitió la aplicación exitosa de la técnica de desinsectación por anoxia.



Foto 12: Observación del fardo funerario antes de su traslado a la CCHEN.



Foto 13: Llegada del fardo al Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre.

En el marco del proyecto de cooperación técnica “Promoción de Tecnologías de Ensayos No Destructivos para Estructuras Civiles e Industriales” financiado por el OIEA, se implementó en Chile un Centro Subregional de Ensayos No Destructivos para promover programas de capacitación y cualificación de sistemas de certificación de personal en esta materia.

En 2023 el equipo de este Centro y profesionales del Centro Nacional de Conservación y Restauración, visitaron la Municipalidad de Chillán para apoyar la recuperación del mural “Principio y fin”, del artista chileno Julio Escámez, mediante el uso de técnicas de georradar y ultrasonido. La obra, que se creía destruida, fue redescubierta recientemente y, gracias a la tecnología aplicada, se evaluó el estado del muro, lo que permitió proceder a su recuperación. También, y a solicitud del CNCR y del Servicio de Patrimonio Cultural, el equipo del Centro Subregional de Ensayos No Destructivos realizó pruebas preliminares en el Centro Patrimonial Recoleta Dominica, con una inspección mediante técnicas de georradar, cámara infrarroja y ultrasonido. El objetivo fue evaluar la aplicación de la tecnología en adobe, con focos de humedad y grietas.

En el marco del proyecto “Creación de capacidades para aplicaciones en ciencia y tecnología nuclear”, auspiciado por el OIEA, nuestro país recibió al investigador del Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) y académico de la Universidad de Sao Paulo de Brasil, Dr. Pablo Vasquez Salvador, experto en uso de radiaciones ionizantes en la conservación y preservación patrimonial. El objetivo fue abrir nuevas perspectivas en el ámbito de la preservación de nuestro patrimonio cultural, mediante un espacio de diálogo con la comunidad dedicada a la materia. En el desarrollo de las actividades participaron representantes del Centro Nacional de Conservación y Restauración, del Museo Histórico Nacional, Universidad de Chile, Museo de Historia Natural de Valparaíso y Biblioteca Nacional.

CCHEN REGULACIÓN NUCLEAR Y RADIOLÓGICA

Autorizaciones y fiscalización

A través de nuestra área de regulación nuclear y radiológica, nos ocupamos de dirigir, planificar, coordinar y supervisar, de manera eficiente y eficaz, protocolos y procedimientos en materia de seguridad radiológica en instalaciones reguladas por la CCHEN, además del personal a cargo. Lo anterior, en cumplimiento a la normativa legal vigente que rige a la institución y a las relacionadas con la seguridad, con el objetivo de garantizar el uso pacífico y seguro de la energía nuclear, en beneficio de las personas y el medioambiente.

Entidades e instalaciones sujetas a control regulatorio

Al 31 de diciembre de 2023, el universo de instalaciones nucleares, de instalaciones radiactivas dentro de una nuclear e instalaciones radiactivas de 1a categoría ascendió a 544. Su distribución por área es la siguiente:

- Industriales: 339, correspondientes a instalaciones de gammagrafía y radiografía industrial, aceleradores de partículas de uso industrial y plantas de irradiación.
- Médicas: 176, correspondientes 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: 29, correspondientes a 4 instalaciones nucleares (reactores de investigación e instalaciones del ciclo de combustible) y 25 instalaciones radiactivas que incluyen laboratorios de producción de radioisótopos, ciclotrones y plantas de irradiación, entre otras.

Solicitudes de autorización

Por otra parte, gestionamos 879 solicitudes de servicio, cuya distribución, por tipo de solicitud, es la siguiente:

- 2,9% solicitudes de autorización de construcción, mayoritariamente del tipo radiactivas de 1a categoría. En el área médica, se autorizó la construcción de 22 nuevas instalaciones, donde 17 fueron instalaciones de teleterapia y 5, de braquiterapia de alta tasa de dosis.
- 5,8% solicitudes de autorización de operación, mayoritariamente radiactivas de 1a categoría.
- 77,4% solicitudes de autorización especial, mayoritariamente aplicables a operadores de instalaciones radiactivas de 1a categoría.
- 11,5% solicitudes de autorización atinentes a actividades de importación, transferencia, transporte y exportación de materiales radiactivos.
- 1,5% solicitudes de cierre definitivo de instalaciones radiactivas.
- 0,9% solicitudes de autorización cierre temporal de instalaciones radiactivas.

Inspecciones

Realizamos 180 inspecciones a instalaciones sujetas al control de la CCHEN, a nivel nacional. De estas, el 51% corresponde a inspecciones programadas y definidas en el Plan de Inspección de 2023. El porcentaje restante fueron inspecciones asociadas a nuevas solicitudes de servicio, a inspecciones de seguimiento a instalaciones y a inspecciones imprevistas.

Hitos

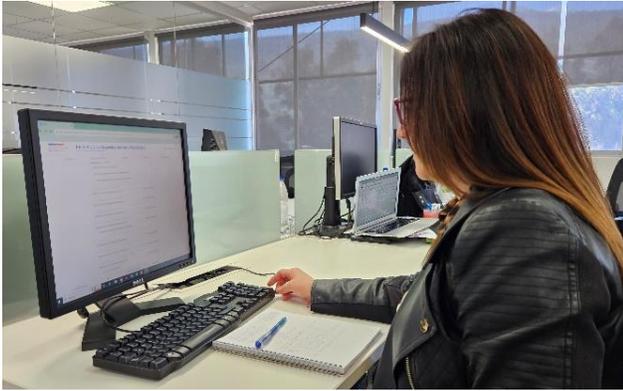


Foto 14: Sistema de Información para Autoridades Regulatoras (RAIS+).

Nos transformamos en el primer país del mundo en implementar el Sistema de Información para Autoridades Regulatoras (RAIS+), aplicado a un proceso completo, en este caso asociado a la autorización especial de operador u operadora y OPR (Oficial de Protección Radiológica).

RAIS+ es una aplicación informática desarrollada por el OIEA con el objetivo de ayudar a los Estados Miembro a gestionar, de manera ágil y eficiente, sus programas de control reglamentario.

En otras materias, cabe destacar en 2023 la repatriación de 14 cabezales de Cobalto 60, que constituyó la segunda de dos expediciones a empresa alemana Gamma Service Recycling GMBH. Implicó la gestión de trámites de autorización de exportación, transporte, transferencia, autorización de operación en la Instalación Centralizada de Desechos Radiactivos y autorizaciones especiales de operador al personal de la empresa alemana. El proceso implicó además las coordinaciones entre las autoridades pertinentes, esto es, la CCHEN, Servicio Nacional de Aduanas, Carabineros de Chile, Dirección General de Aeronáutica Civil y el organismo regulador alemán.

Por otra parte, gestionamos la importación de una fuente de Cobalto 60 de 13.733 Ci desde Canadá, para el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes de la CCHEN. Esta gestión implicó la tramitación de autorizaciones de operación, importación, transporte, junto con autorizaciones especiales de operador para el personal de la empresa responsable de cargar la nueva fuente. Al igual que el caso anterior, el proceso incluyó coordinaciones entre las autoridades pertinentes, incluyendo la CCHEN, Servicio Nacional de Aduanas, Carabineros de Chile, Dirección General de Aeronáutica Civil y el organismo regulador canadiense. Adicionalmente, se tramitaron autorizaciones de exportación y transporte para la fuente en desuso.

Gestionamos la renovación de la autorización de operación para el Reactor Chileno Experimental (RECH-1) de la Comisión, a partir de una serie de análisis para la actualización de toda la documentación de licenciamiento, incluido análisis de riesgos y Safety Analysis Report (SAR), además de abordar temas como envejecimiento y obsolescencia de dicha instalación.

Gestionamos el transporte de elementos combustibles fabricados en la Planta Elementos Combustibles (PEC) para el reactor RECH-1. Esto consideró, de igual modo, coordinaciones entre las autoridades pertinentes, esto es, la CCHEN, el Servicio Nacional de Aduanas, Carabineros de Chile y la Dirección General de Aeronáutica Civil.

Gestionamos la operación de tres nuevos equipos aceleradores de partículas para el Servicio Nacional de Aduanas, los que fueron instalados en dependencias de Aduana ubicadas en San Antonio e Iquique (Quillagua y Colchane). Lo anterior, implicó la tramitación de autorizaciones de importación, construcción, transferencia y operación para cada equipo, e involucró la gestión de cien solicitudes de autorización especial de personas.

Gestionamos la importación de un irradiador de sangre para una nueva instalación emplazada en el Hospital Regional de Antofagasta. Para el año 2024, consideramos gestionar cuatro nuevos irradiadores, que serán destinados a diferentes servicios de salud del país.

Gestionamos la modificación del acelerador de partículas, tipo ciclotrón, de Positronpharma, para habilitar doble target y así ampliar la capacidad de producción de Flúor 18. Esto implicó un análisis de las implicancias a las personas (dosis público, trabajadores y trabajadoras) y al medioambiente (descargas en chimenea), como así también autorizar al personal experto para realizar la modificación.

Compromisos institucionales

Obtuvimos un 100% de cumplimiento de nuestros compromisos de gestión institucional 2023, en lo que respecta a las tareas de regulación, autorización y fiscalización de instalaciones nucleares y radiactivas de 1a categoría.

Trabajamos en el diseño conceptual y en el plan de trabajo de los siguientes indicadores:

- Porcentaje de Implementación del Sistema de Inspección Activa.
- Porcentaje Ejecución Plan Normativo.
- Porcentaje Disponibilización de herramienta Matriz de Riesgo de apoyo al usuario.
- Porcentaje Disponibilización de herramienta de Medición de Cultura de Seguridad de apoyo al usuario.

CCHEN REGULACIÓN NUCLEAR Y RADIOLÓGICA

Normas

Se elaboraron cuatro propuestas de normas técnicas, definidas en el plan normativo proyectado para 2023:

- **Contenido básico de seguridad nuclear:** La propuesta tiene como finalidad entregar las directrices técnicas para garantizar un alto nivel de seguridad en las instalaciones nucleares, promoviendo la protección de los trabajadores y el público contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes, procedentes de instalaciones nucleares.
- **Contenido de informe de seguridad de reactores:** La propuesta tiene como finalidad establecer la información técnica acerca del contenido del informe de funcionamiento y seguridad nuclear de los reactores nucleares de investigación y la frecuencia con que deberá remitir el titular de la instalación, a la Autoridad Reguladora, durante la etapa de operación.
- **Criterios de evaluación de envejecimiento de reactores de investigación:** La propuesta tiene como finalidad establecer los requisitos técnicos y de control para la gestión del envejecimiento (conjunto de procesos o mecanismos) por los que las características de una estructura, sistema o componente se degradan progresivamente con el tiempo o con el uso y obsolescencia (desempeño insuficiente en comparación con reemplazos tecnológicos actuales, carecen de repuestos adecuados, o no cumplen adecuadamente los requisitos de las normas actuales) en reactores nucleares de investigación.
- **Contenido del Plan de Emergencia para Reactores de Investigación:** La propuesta tiene como finalidad establecer el contenido y consideraciones técnicas que se deben tener en cuenta para elaborar un plan de emergencia en caso de accidentes nucleares y radiológicos en un reactor nuclear de investigación, así como en los centros nucleares en que se encuentren emplazados dichos reactores, precisando, entre otros aspectos, las partes interesadas pertinentes.

Participación en eventos nacionales e internacionales

- **Taller Regional en América Latina para presentar a los Estados Miembros el Sistema de Información para Autoridades Reguladoras (RAIS+)**

En agosto de 2023, participamos en este taller regional que se realizó en Chile, para presentar el Sistema RAIS+ a los Estados Miembro. En esta instancia, la CCHEN compartió su experiencia en el uso e incorporación de dicha plataforma al quehacer regulador, lo que permitió digitalizar el proceso de evaluación de autorizaciones especiales, reduciendo así los plazos de otorgamiento. De esta forma, nos posicionamos como líder mundial en la incorporación y personalización de RAIS+ a procesos regulatorios en el ámbito radiológico.

El taller contó con la participación del jefe de la Unidad de Control Regulador de Fuentes de Radiación del Departamento de Seguridad Nuclear y Física del OIEA, Ronald Pacheco; tres expertos del OIEA y 20 representantes de autoridades regulatorias de Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Perú, Venezuela y Chile.

- **XXIX Reunión Plenaria del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) y de la reunión del Comité Técnico Ejecutivo**

En junio de 2023, la CCHEN fue parte de la XXIX Reunión del Plenaria del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) y de la reunión del Comité Técnico Ejecutivo, realizadas en Ciudad de México. Sus miembros compartieron su quehacer regulatorio y los desafíos que enfrentan en el corto plazo. Asimismo, debatieron sobre aspectos estratégicos y organizativos de FORO, y revisaron futuras

acciones para abordar los retos y desafíos identificados en el Plan de Acción del FORO 2024-2025.

- **Visita científica a la Dirección Técnica de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear, España**
Entre noviembre y diciembre de 2023, participamos en una Visita Científica a la Dirección Técnica de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear de España, con el objetivo de revisar los procesos de inspección y evaluación de instalaciones de medicina nuclear.
- **1a reunión proyecto “Seguridad física durante el transporte interno de materiales radiactivos en los organismos reguladores de los países integrantes del FORO”**
Este evento se realizó en abril de 2023, en Ciudad de México, México.

Capital humano

- Capacitación Linac & iVIEW, realizado en mayo de 2023, por especialistas de VARIAN, fabricante de aceleradores de partículas de uso médico.
- Curso de entrenamiento para la Calificación y Certificación Nivel I de Radiografía Industrial
Entre noviembre y diciembre de 2023, se realizó este curso para diez profesionales de la CCHEN, con el fin de adquirir conocimientos técnicos y la experiencia práctica en la aplicación de radiografía y gammagrafía industrial.

CCHEN SEGURIDAD

Seguridad Radiológica Integrada

Las actividades de la seguridad radiológica integrada llevadas a cabo por la CCHEN tienen por objetivo controlar, gestionar, evaluar y optimizar la seguridad y salud en el trabajo, la protección radiológica, la seguridad física y la vigilancia medioambiental.

Protección Radiológica Ocupacional

La Protección Radiológica Operacional verifica 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 los eventuales riesgos derivados de su uso.

- **Informes**

En el período se generaron 36 informes técnicos para las personas responsables de las instalaciones de la CCHEN y tres informes técnicos destinados a empresas externas, con la finalidad de dar cumplimiento a los requerimientos de la autoridad reguladora.

- **Oficial de Protección Radiológica en Alerta**

La institución cuenta con Oficiales de Protección Radiológica en Alerta (OPRA) que, a través de turnos 24/7, permiten a la CCHEN contar con dos teléfonos para atender llamadas ante potenciales emergencias radiológicas.

En 2023, se recibieron nueve llamados telefónicos de diferentes regiones del país, que requirieron asesoría presencial y a distancia de la Unidad de Protección Radiológica Ocupacional, con el fin de resolver diversas situaciones que no constituyeron ningún riesgo radiológico para los trabajadores y trabajadoras, las personas ni el medioambiente.

- **Formación de capital humano**

Se capacitó a 67 personas, a través de Cursos Básicos de Protección Radiológica 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 la Universidad de Chile; a personal técnico de 1ª respuesta a emergencias radiológicas, como Bomberos de Chile y de la Dirección General del Territorio Marítimo y de la Marina Mercante. Estos cursos se realizaron en forma presencial y virtual.

De igual modo, en 2023 se capacitó a 73 funcionarios de diversas instalaciones de la institución, focalizando el entrenamiento en aspectos de la protección radiológica específicos de cada una de dichas instalaciones.

- **Dosis de Personal Ocupacionalmente Expuesto en Producción de Radiofármacos**

Sobre el indicador que da cuenta del promedio equivalente de dosis del personal ocupacionalmente expuesto (POE) en la producción de radiofármacos, en 2023 se obtuvo como resultado promedio por POE expuesto un 0,98 mSv, muy por debajo de la meta establecida, igual o inferior a 10 mSv.

- **Evaluación del estado de la seguridad radiológica del país**

El Sistema de Gestión de la Información sobre Seguridad Radiológica (RASIMS) permite al país evaluar cómo se han incorporado en la infraestructura de seguridad radiológica las recomendaciones y los requisitos de las normas de seguridad del OIEA. Esta información se comunica por la plataforma RASIMS al OIEA.

Durante 2023, se actualizaron los contenidos informados por Chile en el área temática de seguridad sobre protección radiológica en infraestructura reguladora. El OIEA evaluó la nueva información, verificando los nuevos antecedentes y coincidiendo parcialmente con la valoración nacional en los elementos actualizados del área temática. En esta área, el país ha incorporado a su infraestructura de seguridad radiológica un 84% de las recomendaciones y requisitos.

Adicionalmente, se actualizaron los contenidos informados por Chile en el área temática de seguridad sobre protección radiológica en exposiciones médicas. El OIEA evaluó la nueva información, verificando los nuevos antecedentes y coincidiendo con la valoración nacional en todos los elementos del área temática. En esta área, el país ha incorporado a su infraestructura de seguridad radiológica un 70% de las recomendaciones y requisitos.

Seguridad Física

La Unidad de Seguridad Física se ocupa de implementar, operar y mantener el Sistema de Protección Física de la CCHEN, compuesto por dos centrales de vigilancia y alarmas emplazadas en los dos Centros de Estudios Nucleares. Este sistema de protección física se ha desarrollado cumpliendo con las recomendaciones sobre Protección Física de Materiales Nucleares e Instalaciones Nucleares del OIEA, y su implementación se ha realizado bajo la colaboración y supervisión de personal experto del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE).

Unidad Vigilancia Medioambiental

Sus funciones son medir y evaluar periódicamente 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.

La CCHEN cuenta con un Sistema de Monitoreo Radiológico Ambiental en Línea, constituido por la Red Nacional de Monitoreo Radiológico Ambiental, que integra nueve estaciones ubicadas en Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Santiago, Concepción, Temuco y Puerto Montt, y por la Red CCHEN de Monitoreo Radiológico Ambiental, que está en instalaciones de la CCHEN, con un total de diez estaciones (cinco estaciones por cada Centro de Estudios Nucleares).

De acuerdo a lo anterior, en 2023 la Red Nacional de Monitoreo Radiológico Ambiental en Línea procesó 41.430.334 datos de tasa de exposición y la Red CCHEN de Monitoreo Radiológico Ambiental en Línea, 19.293.986 datos de tasa de exposición.

Por otra parte, La Unidad de Vigilancia Medioambiental recolectó, en forma semanal, aerosoles principalmente de Yodo 131 del Área de Producción de Radioisótopos de Reactor del Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre y de los laboratorios de Radioquímica y Control de Calidad del Centro de Estudios Nucleares La Reina.

Los resultados de los análisis indicaron que el valor de dosis equivalente por incorporación de Yodo 131 por cada Centro de Estudios Nucleares es:

- CEN La Reina: 0,011 (mSv/año), que equivale a 1,06% del valor de dosis recomendado para el público según

- ICRP (1mSv/año) y 0,21% del valor que indica la normativa chilena vigente (5mSv/año).
- CEN Lo Aguirre: 0,0003 (mSv/año), lo que equivale a 0,003% del valor de dosis recomendado para el público según ICRP (1mSv/año) y 0,0006% del valor que indica la normativa chilena vigente (5mSv/año).

Salvaguardias

En el marco del Acuerdo de Salvaguardias entre Chile y el OIEA se requiere realizar verificaciones o inspecciones de dicho organismo a nuestro país, principalmente a instalaciones nucleares de la CCHEN.

Por ello, entre los días 06 al 13 de noviembre de 2023, se desarrolló una verificación de Salvaguardias, a cargo de inspectores del OIEA, a las áreas de balance de materiales e instalaciones nucleares de: Reactor Nuclear RECH-1, la Planta de Elementos Combustibles, el Laboratorio de Conversión, el Reactor Nuclear RECH-2 y a otras instalaciones con presencia de material nuclear, en particular de la sección de Gestión de Desechos Radiactivos, y otras dependencias de interés del OIEA, con actualizaciones recientes en su uso.

No se detectaron posibles desvíos de material nuclear a otras actividades no declaradas y la información de diseño, declarada de las instalaciones, es consistente con lo observado por los inspectores.

El OIEA, a través de los inspectores, solicitó la recopilación de antecedentes respecto de una serie de publicaciones realizadas por distintos investigadores de universidades nacionales y personal CCHEN.

Chile se mantiene como un usuario permanente del “State Declaration Portal” que puso a disposición el OIEA. Esta plataforma se ha constituido como una potente herramienta que, entre otros beneficios, ha permitido entregas oportunas de información y se ha consolidado como un canal efectivo para las comunicaciones entre Chile y el OIEA en el ámbito de Salvaguardias.

COOPERACIÓN TÉCNICA Y RELACIONES INTERNACIONALES

Cooperación Técnica con el OIEA

El objetivo de las tareas de cooperación técnica y de relaciones internacionales es fortalecer el acceso de la CCHEN y de instituciones nacionales a la ayuda e intercambio técnico en el ámbito nuclear a nivel regional y global, mejorando de paso sus vínculos e integración con organismos externos.

Las principales actividades realizadas en 2023 fueron:

- La continuación de la ejecución de proyectos del ciclo de cooperación técnica 2022-2023.
- Lanzamiento del Programa Nacional de Cooperación Técnica del ciclo 2024-2025. Se presentaron cinco proyectos que fueron aprobados por la Junta de Gobernadores del OIEA:
 - Creación de capacidad para aplicaciones de la ciencia y la tecnología nucleares.
 - Generación y uso de tejidos radioesterilizados en tratamientos de alto impacto en salud y calidad de vida.
 - Red nacional de cooperación para el uso de técnicas nucleares en programas de fitomejoramiento.
 - Sistema nacional de verificación de la autenticidad y determinación de origen de alimentos.
 - Fortalecimiento de la infraestructura nacional de seguridad nuclear y radiológica.

En el programa nacional de cooperación técnica, además de la CCHEN, participan la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV); Centro de Estudios Avanzados en Fruticultura (CEAF); Agencia Chilena para la Calidad e Inocuidad Alimentaria (ACHIPIA); Laboratorio de Toxinas Marinas de la Universidad de Chile; Servicio Agrícola y Ganadero; Coordinación Nacional de Donación, Procuramiento y Trasplante de Órganos y Tejidos; Hospital Clínico San Borja Arriarán; Banco Nacional de Tejidos; Servicio de Salud Metropolitano Central.

- En agosto de 2023, se realizó una revisión interna del Programa Nacional de Cooperación Técnica del OIEA. En esta actividad las contrapartes de los proyectos nacionales participaron en una jornada de análisis de la ejecución de los proyectos a la fecha, con la participación del Director Ejecutivo de la CCHEN. Las contrapartes presentaron los avances, y su percepción acerca de los logros, dificultades y posibles causas. También analizaron las proyecciones e impactos esperados, las fortalezas y oportunidades de mejora del Programa de Cooperación Técnica, con un enfoque transversal.
- Evaluación y auditoría a nivel de país por parte del OIEA: En el ámbito de la identificación de oportunidades de mejora en procesos a nivel nacional, en 2023 se llevó a cabo este proceso de evaluación y auditoría en seis países de la región, a saber, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Jamaica y Perú. Es así como, representantes del OIEA se reunieron con diferentes contrapartes de proyectos a nivel nacional, para hacer un examen del desempeño y los resultados de la labor del OIEA y de los proyectos ejecutados en Chile, centrado en el período comprendido entre 2016 y 2022, con especial atención en las esferas de la salud humana y seguridad radiológica, de manera de generar conclusiones y recomendaciones para la mejora.
- Misión del Grupo de Garantía de Calidad en Radio-oncología del OIEA: Esta misión realiza auditorías independientes mediante exámenes exhaustivos de las prácticas de radioterapia de un centro oncológico, con vistas a mejorar la calidad de la labor y de los servicios. En noviembre de 2023 esta auditoría fue realizada a la Unidad de Radioterapia del Centro Oncológico del Norte de la ciudad de Antofagasta.

COOPERACIÓN TÉCNICA Y RELACIONES INTERNACIONALES

Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares

En el marco del tratado de prohibición Completa de Ensayos Nucleares, la CCHEN cumple funciones que tienen por objetivo asegurar la gestión de internación, envío y seguimiento de equipamiento, suministros, repuestos y muestras hacia y desde la Organización del TPCE y sus subcontratistas, principalmente en Norteamérica, Europa y Asia, considerando la interacción (cuando corresponda) con el PNUD. También tiene como función administrar el Centro Nacional de Datos, que recoge información de las estaciones de monitoreo instaladas en el país, así como su uso por entidades interesadas y autorizadas por la CCHEN.

Actividades del período

En enero de 2023 se realizó el curso RIC-24 (Regional Introductory Course) en la Universidad de Maejo en Chiang Mai, Tailandia. El objetivo fue familiarizar a expertos(as) técnicos y personal de los Estados Signatarios con el régimen de las Inspecciones In Situ.



Foto 15: Delegación visita estación en Juan Fernández.

Entre el 20 de febrero y 7 de marzo de 2023, un equipo de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE) visitó las estaciones chilenas de monitoreo, ubicadas en la isla Juan Fernández y que forman parte del Sistema Internacional de Vigilancia.

El objetivo de la visita fue realizar mantenciones y actualizaciones de componentes técnicos en las estaciones de hidroacústica y de infrasonido, junto con actualizar el inventario de los equipos y los suministros.

Posteriormente, en noviembre de 2023, el personal de mantenimiento de la Organización del TPCE también visitó la isla de Rapa Nui. En esta localidad se encuentran las estaciones de monitoreo de partículas y de gases nobles, así como las estaciones de detección de infrasonido y eventos sísmicos.

También se visitó la estación de radionucleidos, ubicada dentro de la Universidad de Magallanes en la ciudad de Punta Arenas.



Foto 16: Delegación en estación localizada en Rapa Nui.

En junio de 2023, se realizó la Conferencia de Ciencia y Tecnología (SnT2023) en Viena, Austria. El evento reunió a más de mil investigadores(as), científicos(as), técnicos y académicos(as), representantes de la sociedad civil y de los Estados Signatarios. Se debatieron temas como la tierra como sistema complejo, sucesos y emplazamientos de ensayos nucleares, tecnologías y técnicas de vigilancia e inspección in situ, mantenimiento de redes, evaluación del rendimiento y optimización, entre otros. Participaron dos funcionarios CCHEN, que moderaron paneles de discusión, mediante la presentación de un trabajo de investigación con datos de infrasonido de Juan Fernández y Rapa Nui, obtenidos en pandemia. También participó en un panel de discusión Sergio Barrientos, Director del Centro Sismológico Nacional (CSN).



Foto 17: Paola García de la CCHEN durante la Conferencia de Ciencia y Tecnología (SnT2023) en Viena, Austria.

En julio de 2023, el Dr. Robert Floyd, Secretario Ejecutivo de la OTPCE, visitó la CCHEN, donde se reunió con el Director Ejecutivo, Dr. Luis Huerta y el punto de contacto del Tratado, Paola García. Conversaron del origen y actividades del Tratado, su implementación en Chile, además de asuntos globales, equidad de género y distribución geográfica en la organización.

También visitó la Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos, el Centro Sismológico Nacional, la Universidad de Chile y la Academia Diplomática Andrés Bello, donde impartió una clase magistral sobre desafíos de seguridad internacional y no proliferación.



Foto 18: Visita Dr. Robert Floyd a Chile.

En septiembre de 2023, se llevó a cabo un “Ejercicio de Simulacro Dirigido” en la base militar de Bruckneudorf, Austria. Este simulacro permite que los asistentes cuenten con la debida preparación para establecer una base de operaciones. En el ejercicio inspectores de todo el mundo ponen en práctica sus conocimientos en sus áreas de experiencia, luego de ser preparados por un lapso superior a cinco años.

En noviembre de 2023, se llevó a cabo el curso "NDC Training for Spanish Speaking NDCs", en San José, Costa Rica, que abordó temas relacionados con las funciones de los Centros Nacionales de Datos, su situación actual y

proporcionó instrucción sobre el uso de programas utilizados para el desarrollo del trabajo en este ámbito. En diciembre de 2023, se realizó en Chile con apoyo de la CCHEN, el 9° Workshop on Signatures of Man-Made Isotope Production (WOSMIP), reunión internacional donde la comunidad científica debate diversos aspectos de las emisiones de radionúclidos procedentes de diversas actividades, incluidos los reactores nucleares, la producción y el uso de isótopos y otras actividades que podrían interferir en la vigilancia interna de las explosiones nucleares. Entre las actividades ejecutadas, científicos de 17 países visitaron las instalaciones del Centro de Estudios Nucleares La Reina. El taller contó con la presencia de autoridades nacionales, incluyendo al Subsecretario de Energía y al Director Ejecutivo de la CCHEN.



Foto 19: El programa de WOSMIP incluyó una visita al Centro de Estudios Nucleares La Reina.

COMPROMISOS DE SERVICIO PÚBLICO

Cumplimiento de Metas Institucionales

Compromiso de Desempeño Colectivo, Programa de Mejoramiento de la Gestión y Alta Dirección Pública

La CCHEN cumplió exitosamente con todos los indicadores de las metas comprometidas. Tanto el convenio de Desempeño Colectivo como el Programa de Mejoramiento de la Gestión alcanzaron un 100% de cumplimiento.

Tabla 16: Resumen Cumplimiento de Metas de Indicadores CDC 2023

Equipos de Trabajo	N° de personas	% Cumplimiento Metas
División Seguridad Nuclear y Radiológica (DISNR)	19	100,0%
División Investigación y Aplicaciones Nucleares (DIAN)	71	100,0%
División Producción y Servicios (DIPS)	65	100,0%
División de Gestión y Desarrollo de Personas (DIGDP)	15	100,0%
División Corporativa (DICORP)	86	100,0%
Oficinas Asesoras, y Dirección Ejecutiva	19	100,0%

Tabla 17: Resumen Cumplimiento de Metas de Indicadores PMG 2023

N°	Marco	Ponderación	Indicador	Meta 2023	% de Cumplimiento Meta Indicador	Cumplimiento Nota y Requisitos Técnicos
1	Gestión Eficaz	5%	Medidas de Equidad de Género	37,5 %	100%	Sí
2	Eficiencia Institucional	30%	Estado Verde	Hasta Etapa 1	100%	Sí
3	Eficiencia Institucional	5%	Desviación Montos Contratos de Obras de Infraestructura	Medir correctamente	100%	Sí
4	Eficiencia Institucional	10%	Concentración del Gasto Subtítulos 22 + 29	114 %	102,23 %	Sí
5	Calidad de los servicios	25%	Calidad de Servicio y Experiencia Usaria	Hasta Etapa 1	100%	Sí
6	Calidad de los servicios	25%	Transformación Digital	Medir correctamente	100%	Sí

Tabla 18: Resultados Evaluación de la Alta Dirección Pública (ADP), año 2023

Ejecutivo ADP	Evaluación 2023
Jefatura División Corporativa	83%
Jefatura División Gestión y Desarrollo de Personas	98,5%
Jefatura División de Producción y Servicios	N/A
Jefatura División de Seguridad Nuclear y Radiológica	97,5%
Jefatura División de Investigación y Aplicaciones Nucleares	100%

Estado Verde

El programa Estado Verde es un programa de mejoramiento de la gestión (PMG), que busca generar una cultura ambiental que permita que las instituciones públicas incorporen políticas, principios y prácticas amigables con el medio ambiente, y la conservación de los recursos, tanto en la administración de las dependencias físicas como en la gestión de los procesos administrativos.

Bajo este marco y considerando que este PMG ha instruido e en su primera etapa “Poner en funcionamiento un marco de gobernanza para el Sistema Estado Verde, mediante la creación del Comité Estado Verde”, es que la CCHEN constituyó este Comité en abril de 2023, mediante la Resolución Exenta N° 378/2023.

Las funciones del comité son:

- Efectuar periódicamente reuniones de trabajo, de carácter propositivas y deliberativas.
- Apoyar las líneas de trabajo priorizadas y cooperar para que el proceso de implementación del Sistema Estado Verde, se instale exitosamente en la institución.
- Instalar exitosamente Sistema Estado Verde en las respectivas Divisiones y Oficinas Asesoras.
- Analizar y aprobar el diagnóstico institucional y el Plan Anual.
- Acompañar las instancias de comunicación del Sistema Estado Verde.
- Informar a la Jefatura Superior del Servicio (Dirección Ejecutiva) y a todos/as los/as funcionarios/as sobre el progreso de las metas ambientales alcanzadas.
- Supervisar el avance de metas, indicadores y/o requisitos técnicos de los objetivos de las Etapas del PMG.

En 2023 este comité llevó a cabo un total de ocho reuniones ordinarias, con el objetivo de trabajar y levantar un diagnóstico de gestión ambiental de acuerdo a los 15 requisitos contemplados para estos efectos en su primera fase. De esta manera la institución dio cumplimiento en un 100% a lo solicitado en esta etapa.

Los requisitos e ítems solicitados fueron: conformación del Comité Estado Verde, revisión existencia de política ambiental, concientización de colaboradores, catastro de inmuebles, registro de colaboradores, definición de alcances, gestión energética, gestión de vehículos, gestión de vehículos, traslados de personas, gestión de papel, gestión hídrica, gestión de residuos, gestión de bienes muebles y gestión de compras sustentables.

Calidad de Servicio y Experiencia Usuaría

El desarrollo conceptual, sistémico y práctico de la Calidad de Servicio y Experiencia Usuaría es crucial para fortalecer la relación con usuarios, quienes dependen de nuestros servicios para satisfacer sus expectativas. Para garantizar la calidad en el servicio y la experiencia del usuario se deben considerar aspectos técnicos, así como los pilares institucionales de Seguridad Nuclear y Radiológica, y Producción y Servicios Tecnológicos. Es esencial contar con el respaldo y liderazgo de la Dirección Ejecutiva y la Alta Dirección para alcanzar con éxito las directrices de gobierno.

En 2023 la CCHEN ha dado cumplimiento en un 100% de los requisitos establecidos por este Programa de Mejoramiento de la Gestión (PMG). Se destaca la creación del Comité de Calidad de Servicio y Experiencia Usuaría, que ha establecido un marco de gobernanza para el sistema. Por otra parte, se capacitó a 109 funcionarios(as) en estas materias, lo que equivale a un 40,22% de la dotación. La institución ha progresado en el levantamiento y sistematización de información relacionada con la calidad del servicio y la experiencia de los usuarios, mediante el desarrollo de un diagnóstico exhaustivo, que incluye la identificación de registros administrativos y la recopilación y análisis de insumos relevantes, como los reclamos presentados por usuarios. Como resultado, ha sido posible detectar las brechas de calidad en el servicio y la experiencia del usuario, detectando fortalezas, debilidades, riesgos, puntos críticos y áreas prioritarias de mejora.

COMPROMISOS DE SERVICIO PÚBLICO

Gestión Presupuestaria, Transferencias y Procesos Afines

En lo que respecta a la ejecución presupuestaria, en 2023 se nos asignó un presupuesto de 13.097 millones de pesos. El aporte institucional al presupuesto fue de 2.158 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 302 millones de pesos, otros ingresos corrientes por un monto de 362 millones de pesos y un aporte fiscal de 10.705 millones de pesos.

Cabe señalar que nuestro presupuesto institucional se complementa con otros fondos provenientes de fuentes de financiamiento de la cooperación internacional. Nuestra ejecución del gasto alcanzó el 100%.

La parte del presupuesto correspondiente a bienes de consumo y servicios no personales, Subtítulo 22, logra en 2023 el 100% de ejecución de los recursos. En relación con los gastos correspondientes a donaciones u otras transferencias corrientes que no representan la contraprestación de bienes o servicios, Subtítulo 24, se realizó una transferencia al Organismo Internacional de Energía Atómica, en línea con los compromisos institucionales.

También se ha establecido y cumplido con el Convenio de Transferencia con el Ministerio de Ciencias, Tecnología, Conocimiento e Innovación, el cual ha sido formalmente aprobado mediante el Decreto Exento 44 emitido por dicho Ministerio. Esta colaboración ha sido fundamental para facilitar una transferencia financiera de \$531.500.000. Dichos fondos están específicamente destinados a fortalecer nuestra capacidad en cuanto al abastecimiento de equipamiento necesario para nuestros proyectos. La Comisión Chilena de Energía Nuclear ha alcanzado un notable progreso del 100% en el cumplimiento de una variedad de compromisos adquiridos para el desarrollo de capacidades en diversos ámbitos de investigación.

Estos compromisos abarcan la consolidación del Núcleo de Recursos Tecnológicos Compartidos, el impulso del Centro de Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones, la promoción del Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética, el fortalecimiento del Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables, así como la mejora continua del Centro de Investigación en la intersección de física de plasmas, materia y complejidad.

GESTIÓN INSTITUCIONAL

Gestión de la Información e Infraestructura

Tecnologías de la Información y Comunicaciones

- Se obtuvo 100% de cumplimiento en el indicador “Plan de migración de sistemas informáticos a plataforma Cloud” que se encontraban alojados en el datacenter local. Mediante este proyecto, se logró la migración a plataforma Cloud, de siete sistemas aplicativos y seis bases de datos. Con ello, se brinda mayor protección, seguridad y disponibilidad de los sistemas informáticos, con el fin de entregar un mejor servicio tanto a personas externas como internas de la CCHEN.
- En 2023 se ejecutaron 13 desarrollos de sistemas informáticos para diversas Divisiones, Secciones, Unidades y Oficinas Asesoras de la institución. Algunos de estos proyectos tuvieron relación con sistemas para la División de Gestión y Desarrollo de Personas, portales y plataforma para la División de Seguridad Nuclear y Radiológica, portales para la División de Aplicaciones Nucleares, sistemas para Control de Calidad, proyecto Estado Verde y Gestión de Desechos radiactivos, por nombrar sólo algunos.
- En cuanto al Registro Nacional de Trámites, se realizó el 100% de las actualizaciones dentro del plazo definido por SEGPRES. Esta actividad es una exigencia gubernamental acorde al “Protocolo de trabajo del Registro Nacional de Trámites” del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
- Respecto de la publicación de la información institucional en Transparencia Activa, se realizaron de manera completa y oportuna todas las publicaciones mensuales de la institución en 2023, dando cumplimiento a la Ley de Acceso a la Información Pública N° 20.285 - ORD N° 802/2013, a la Resolución 500/2022 del Consejo para la Transparencia y Oficios 870, 1220 y 166 sobre “Transparencia Activa” de los Organismos de Gobierno.
- En áreas de Seguridad de la Información, se monitorean constantemente todas las plataformas (firewall, Workspace, antivirus, etc.) que operan en la CCHEN, para garantizar la seguridad en dichas plataformas. También y de manera constante, se realizaron análisis de vulnerabilidades a todos los portales web que operan en la CCHEN. Esto se llevó a cabo utilizando herramientas automáticas que inspeccionan los sitios web y entregan los reportes para el análisis, a fin de mejorar los servicios que se encuentran en operación.
- Respecto de la atención de usuarios, se recibieron 1.843 requerimientos en 2023. El tiempo promedio de respuesta fue de 1,47 días, que se considera cuando el requerimiento no necesita el servicio de proveedores externos, como: garantías, adquisición de repuestos o habilitación de servicios de terceros.
- En Soporte de infraestructura y redes, se trabajó en el diseño de topología de red en las diferentes remodelaciones efectuadas en el CEN La Reina: Biblioteca (7 puntos de red), Irradiador (3), Banco de Tejidos (1), 2° piso ex biblioteca (6).

Tabla 19: Equipos entregados o instalados en 2023

PC Nuevos	14
PC sometidos a upgrade de software y hardware	65
Notebooks nuevos	12
Notebooks actualizados	9
Router Wi-Fi	5

GESTIÓN INSTITUCIONAL

Ingeniería y Mantenimiento

En 2023 se realizaron los siguientes trabajos:

- Mantenimiento correctivo de la nave central de la sala multieventos y cambio de la totalidad de la cubierta de asbesto cemento. También se remodeló el sector de camarines de esta sala.
- Cambio de la cubierta de policarbonato del tragaluz de Biblioteca y remodelación sector oriente oficinas del primer piso Biblioteca.
- Diseño e implementación del proyecto Banco de Tejidos Orgánicos, actualmente en construcción.
- Fabricación sistema estanque para almacenar agua potable de respaldo para los servicios domésticos de la Planta de Irradiaciones.
- Mantenimiento correctivo del sello y pintura de la cubierta metálica del techo de la Sede Amunátegui.
- Construcción pozo absorbente sistema alcantarillado y remodelación de baños sector transporte del CEN Lo Aguirre.
- Remodelación de baños del personal de transportes externo del CEN Lo Aguirre.
- Remodelación pasillo frío Radioquímica del CEN Lo Aguirre, con impermeabilizado de losa, pintura pasillo frío, instalación puerta sanitaria, modificación sector lavadero inoxidable.
- Remodelación sector Irradiación CEN La Reina para construir sala de espera, oficina, bodega y Kitchenette.
- Remodelación servicios higiénicos sector Irradiación pabellón de Talleres.
- Habilitación sala de lactancia La Reina.
- Limpieza del sistema de decantación del agua del canal el bollo.
- Nueva Kitchenette en el pabellón de Física antigua.

Talleres y Mantenimiento

Área Laboratorio de Electrónica e instrumentación

- Implementación de la Red de Monitoreo Ambiental con instalación de antenas Wi-Fi punto a punto en los centros nucleares.
- Fabricación de circuitos montados en PCB con componentes SMD con uso de microscopio con monitor HDMI y estación de soldadura de aire caliente, equipada para micro soldadura.
- Mantenimiento correctivo para reacondicionamiento del detector de Germanio.
- Mantenimiento de equipos de dos equipos del área de dosimetría.
- Puesta en operación de equipo Lynx en Laboratorio de Activación Neutrónica.
- Apoyo en amplificación de audio y video para más de 24 reuniones híbridas, seminarios y otras actividades.

Área Electricidad, Mecánica, Soplado de Vidrio y Mantenimiento Menor

- Ejecución de proyectos eléctricos y supervisión de obras gestionadas por la unidad de Ingeniería y Proyectos.
- Instalación de nueve unidades portátiles Split en sector tercer piso pabellón Química del CEN La Reina.
- Mantenimiento preventivo y correctivo electromecánica para mantener operativas instalaciones y equipos CCHEN.
- Reparación mecánica de la planta productora de Nitrógeno Líquido y equipo compresor de la PIM.
- Recubrimiento con acero inoxidable del mobiliario del laboratorio de producción de Isótopos y

Radiofármacos para dar cumplimiento a requerimiento del ISP.

- Diseño, fabricación y mantención de equipos varios de vidrio tipo cuarzo y boro silicato para producción radiofármacos y laboratorios de investigación.
- Mantención operativa de plantas telefónicas, cambio de anexo/teléfono análogo por digital y apoyo para la actualización de las plantas.
- Mantenciones varias de la infraestructura y mobiliarios.
- Mantención instalaciones y equipo del reactor RECH-1: Módulos electrónicos de control y medición, detectores ambientales, sistemas de ventilación.
- Mantención Laboratorio Control de Calidad: Detectores de radiación, sistema de ventilación.
- Mantención Laboratorio Liofilizado en sistema de ventilación.
- Mantención Dosimetría: Equipos de lectura dosimétrica TLD, purificadores de aire, UPS.
- Mantención correctiva equipos LMRI detectores de radiación.
- Mantención Instalaciones Laboratorio de Producción de Radioisótopos.
- Mantención Planta de Irradiación Multipropósito: Sistemas de control.
- Mantención Planta de Elementos Combustibles: Equipos e instalaciones eléctricas.

GESTIÓN INSTITUCIONAL

Gestión de la Investigación

Durante 2023, nuestros investigadores e investigadoras se adjudicaron cinco nuevos proyectos: cuatro con la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), dos de Fondecyt, un Fondecyt y uno de Fomento a la Vinculación, este último en colaboración con la Universidad Católica del Maule.

Por otra parte, con financiamiento de la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo), postulamos a un proyecto de desarrollo estratégico institucional, para ser ejecutado en 2024. El objetivo es reforzar las características únicas y altamente especializadas de la CCHEN para desarrollar investigación y generar aplicaciones factibles de realizar, de modo de ser un aporte claro y directo a los desafíos de sostenibilidad nacionales, englobados por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas.

En cuanto a las publicaciones realizadas en el periodo, se publicaron 17 artículos en revistas de corriente principal, donde la gran mayoría se ubica en aquellas de mayor impacto.

En lo que respecta a otras actividades, cabe destacar las actividades desarrolladas por nuestro Departamento de Gestión de la Investigación, cuyo objetivo es apoyar administrativamente y estratégicamente las actividades de investigación, desarrollo, innovación y transferencia tecnológica, mediante procesos definidos y eficientes, que incluyen vigilancia y prospectiva, protección de propiedad industrial e intelectual, estrategias de transferencia tecnológica, gestión de proyectos y planificación y control de gestión de la División de Investigación y Aplicaciones Nucleares. Dentro de los hechos relevantes del período, cabe destacar:

- **AtomFactory: Ideando para el Chile que queremos**

Esta actividad fue punto de encuentro entre profesionales de la CCHEN, quienes conversaron sobre ideas y posibles iniciativas factibles de desarrollar, tanto de manera individual como colectiva.

- **AtomFactory: Mesa de trabajo de separación isotópica de Litio**

Como parte del proceso de atomFactory, se reunió la mesa de trabajo de Litio para desarrollar la idea que surgió relacionada con la separación isotópica de litio-6 y litio-7.

- **Ciclo de charlas CCHEN I+D**

Este ciclo de charlas de I+D busca dar a conocer los principales resultados alcanzados por cada uno de los centros de investigación de la CCHEN. Parte de los temas abordados, en el primer ciclo, fueron:

- Uso de bajas dosis de radiación ionizante para estudiar la respuesta hormética sobre especies agrícolas. Charlista: Daniel Villegas.
- Uso de radiación y técnicas para mejoramiento genético. Charlista: Daniel Villegas.
- 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. Charlista: Doris Ly.
- Desarrollo de metodología para inducir mutaciones en variedades de papa nativa chilena para la resistencia a enfermedades. Charlistas: Doris Ly y Macarena Fuica.
- Sistema nacional de referencia para verificar la autenticidad y determinar el origen de los alimentos mediante el uso de técnicas nucleares isotópicas. Charlista: Enrique Mejías.
- Dinámica de nutrientes en frutales, utilizando técnicas isotópicas. Charlista: Adriana Nario.
- Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del Impacto Radiológico Ambiental. Charlista: Adriana Nario.

- Uso de isótopos estables (^{133}Cs y ^{88}Sr) como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de los radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura. Charlista: Poulette Blanc.
- Evaluación de los efectos de los metales pesados y otros contaminantes en los suelos contaminados por actividades de origen antropogénico y natural (ARCAL). Charlista: Ana Valdés.
- Innovación integral de evaluación/exposición a contaminantes (FIC-R Aysén). Charlista: Ana Valdés.
- Fuentes y dinámica atmosférica de mercurio gaseoso total y metales pesados ligados a partículas en una zona megaindustrial en el centro de Chile (FONDECYT Regular). Charlista: Ana Valdés.

Una segunda etapa del ciclo de charlas se realizó con el Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética (METS), y en ellas se abordó:

- Extracción simultánea de magnesio y boro para la obtención de salmueras de litio de alta pureza utilizando un nuevo líquido iónico como extractante. Charlista: Julio Urzúa.
- Desarrollo de un sistema de nanohidrometalurgia magnética para la obtención de salmueras de litio de alta pureza. Charlista: María José Inestrosa.
- Recuperación de metales de valor desde relaves mineros de la III y IV región, mediante procesos de lixiviación por agitación. Charlista: José Joaquín Hernández.
- Estudio de mezclas de líquidos iónicos como fluido de almacenamiento y transferencia de energía solar. Charlista: Julio Urzúa.
- Implementación de un equipo de sputtering para el desarrollo de ionanofluidos para el almacenamiento y transferencia de energía. Charlista: María José Inestrosa.
- Caracterización Eléctrica de materiales. Charlista: Ricardo Ávila.
- Perspectiva de Hidrógeno Verde en la CCHEN. Charlistas: Julio Urzúa y Nicole Parra.

GESTIÓN INSTITUCIONAL

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. El objetivo es 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 2023, se ejecutaron los retiros correspondientes a residuos 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. De este modo se hace retiro de residuos compuestos por sólidos y líquidos misceláneos, soluciones ácidas y alcalinas, tubos fluorescentes, líquidos inflamables residuales y baterías con plomo, entre otros.

En cuanto a los residuos no peligrosos generados en ambos centros nucleares, en 2023, están compuestos por papeles y cartones, plásticos de diferente origen, vidrios, maderas, metales de diferente origen y escombros.

No obstante, la CCHEN realiza evaluación de presencia de radionúclidos artificiales en descargas de residuos líquidos, lo que ha asegurado a lo largo de los períodos la no presencia de radionucleidos artificiales en tales residuos.

Por último, la siguiente tabla identifica fuentes y su generación de monóxido de carbono, y el máximo permitido por la ley, en relación a las últimas mediciones anuales de emisiones de gases de calderas que existen en el Centro de Estudios Nucleares La Reina:

Normativa	Detalle	Límite Normativo	Medición CCHEN	Características	Periodo
DS 31/2017	Plan de Prevención y Descontaminación para la RM	100 PPM	77 ppm	Caldera 1	oct-22
DS 31/2017	Plan de Prevención y Descontaminación para la RM	100 PPM	8 ppm	Caldera 2	oct-22
DS 31/2017	Plan de Prevención y Descontaminación para la RM	100 PPM	51 ppm	Caldera 1	jun-23
DS 31/2017	Plan de Prevención y Descontaminación para la RM	100 PPM	13 PPM	Caldera 2	jun-23

Auditoría y Control Interno

Las actividades de auditoría y control interno institucionales se enfocan en prestar servicios de aseguramiento y asesoramiento o consultoría, orientados bajo los principios de independencia y objetividad, concebidos para agregar valor y mejorar las operaciones del Servicio, a través de un enfoque sistemático y disciplinado.

En el marco del Plan Anual de Auditoría Interna 2023, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Auditoría de aseguramiento al Proceso de Radioisótopos y Radiofármacos (Diciembre 2023).
- Auditoría de aseguramiento al Proceso de Remuneraciones (Diciembre 2023).

Lo anterior, junto a la ejecución de las actividades de Aseguramiento correspondiente a los Objetivos Gubernamentales y Ministeriales de Auditoría, permitió cumplir el 100% de las acciones programadas.

- Se desarrollaron las fases I y II del proyecto de Implementación del Programa de Aseguramiento para Mejora Continua del área de Auditoría Interna (PAMC), a partir de la postulación al proyecto, aceptada en 2022.
- En el marco de implementación del PAMC, en 2023 se dio especial énfasis al Programa de Capacitaciones, que permitió el acceso de dos funcionarios al Diplomado en Ciberseguridad para Auditores Gubernamentales, en la Universidad de Santiago de Chile, bajo la coordinación del Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno.
- Se desarrollaron capacitaciones para el equipo de auditoría interna en conocimiento y análisis de las Normas del Marco Internacional para la Práctica Profesional, dictadas por The Institute of Internal Auditors (IIA), liderado por el Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno, en su calidad de organismo técnico.

GESTIÓN INSTITUCIONAL

Compromisos con la Gestión de Políticas Públicas

Comité de Integridad y Ética

Este Comité se creó en el marco de la Agenda de Probidad del Supremo Gobierno dispuesta a partir de mayo de 2015, así como del Protocolo de Acuerdo, suscrito en julio de 2015, entre la Asociación Nacional de Empleados (ANEF) y los Ministros de Hacienda y del Trabajo y Previsión Social.

En 2023, se llevaron a cabo siete reuniones del Comité de Integridad y Ética, para revisar y actualizar información respecto de la Agenda de Probidad y aquella referente al Código de Ética y los Comité de Integridad, generando de paso una propuesta de actualización del Comité de Integridad en cuanto a estructura y funciones.

Las funciones actuales del Comité de Integridad y Ética de la Comisión Chilena de Energía Nuclear son:

- Proponer al Director Ejecutivo programas y/o estrategias, impulsando el desarrollo participativo de la institución en materias de probidad y ética.
- Incentivar a los funcionarios y funcionarias de la institución, generando instancias de diálogo, interacción y participación, institucionalizando una cultura organizacional con altos estándares éticos.
- Reforzar la responsabilidad funcionaria y los valores comunes para facilitar el abordaje de los dilemas éticos institucionales.
- Participar en instancias y programas relacionados con el código de ética y temas afines de probidad y transparencia, como también en las sesiones de reporte del coordinador de ética.
- Recibir y gestionar, a través del canal de consultas y denuncias, las consultas y denuncias que se reciban.

Transparencia y Participación Ciudadana

- **Transparencia**

Durante 2023 la CCHEN recibió 55 solicitudes de acceso a la información (ley 20.285), de las cuales 53 fueron respondidas en el período. El 68% de las solicitudes respondidas se ejecutó en un plazo igual o inferior a 15 días hábiles.

Participación Ciudadana

- **Consejo de la Sociedad Civil (COSOC)**

En agosto de 2023 se constituyó el nuevo Consejo de la Sociedad Civil (COSOC) de la CCHEN 2023-2026. El COSOC es una de las instancias en las que la ciudadanía organizada expresa su opinión sobre actividades clave de la CCHEN. El periodo de postulación se extendió del 12 de abril al 7 de julio de 2023, tras lo cual el nuevo COSOC quedó integrado por cinco estamentos: residentes de comunas aledañas a los Centros de Estudios Nucleares; universidades y sociedades científicas chilenas; gremios y asociaciones de profesionales ligados a temáticas nucleares, radiológicas y afines; organización transversal del sector productivo empresarial; y organizaciones temáticas relacionadas a políticas estatales, como ciencia, tecnología, sostenibilidad, género o inclusión. El nuevo COSOC quedó conformado por 28 integrantes entre titulares y suplentes.

- **Puertas abiertas**

Día de los Patrimonios

El 27 de mayo de 2023, la CCHEN participó en la actividad de puertas abiertas del Día de los Patrimonios, organizado por el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, bajo la temática “Recuerdos para el Futuro”. Asistieron 130 personas, junto al Ministro de Energía, Diego Pardow; el Director Ejecutivo de la CCHEN, Luis Huerta; y el Presidente del Consejo Directivo de la CCHEN, Julio Maturana. El público recorrió el reactor de investigación RECH-1 y los laboratorios de física de plasmas.

OH! Santiago

El 26 de agosto de 2023 el Centro de Estudios Nucleares La Reina abrió sus puertas al público, en el marco de la 6ª edición de OH! Santiago, un evento que pone a disposición de la ciudadanía, una vez al año y en forma gratuita, recorridos, visitas guiadas y otras actividades, para conocer in situ lo mejor de la arquitectura, ingeniería, medio ambiente, diseño y planificación urbana de Santiago. De esta manera el público asistente pudo conocer el reactor de investigación RECH-1 y los Laboratorios de Física de Plasmas y Fusión Nuclear. Asistieron 140 personas.

Encuentro con escolares

Por otra parte, los días 14 y 28 de junio y el día 30 de octubre de 2023, se llevaron a cabo jornadas de puertas abiertas para estudiantes de 7° básico a 4° medio. Estas jornadas se denominaron “Encuentro con escolares - Visita a la CCHEN” y se ejecutaron en el Centro de Estudios Nucleares La Reina. Los estudiantes pudieron asistir a una breve charla sobre el quehacer de la CCHEN y los usos de las radiaciones ionizantes en el país, para luego recorrer el reactor RECH-1 y el Laboratorio de Plasmas y Fusión Nuclear. Participaron en total 14 establecimientos educacionales, provenientes de las comunas de Santiago, Estación Central, Ñuñoa, La Reina, Lo Barnechea, Peñaflores, La Pintana, Buin, San Miguel, Villa Alemana, Padre Hurtado y Lo Espejo. Asistieron en total 405 personas entre estudiantes y profesores.

Visitas institucionales

En cuanto al programa de visitas institucionales, la CCHEN recibió en sus centros nucleares a un total de 19 delegaciones, principalmente de universidades, totalizando un universo de 353 personas atendidas, entre estudiantes de diversas carreras y académicos.

- **Iniciativas de Género**

La Institución ha asumido un fuerte y sostenido compromiso con la igualdad de género, mediante la promoción y el impulso de una serie de iniciativas que buscan, por una parte, disminuir las brechas entre hombres y mujeres al interior de la Comisión y, por otra parte, atraer un mayor número de mujeres, mediante acciones que apuntan a despertar vocaciones en la etapa escolar sobre todo en las áreas STEM, donde su participación, pese a los esfuerzos, sigue siendo menor.

De ahí que el conjunto de medidas que la CCHEN adoptó con esta finalidad, se tradujo en compromisos institucionales que se implementaron en el marco del Programa de Mejoramiento de la Gestión 2023, que contempló, en primer lugar, estudios, datos y estadísticas con información desagregada por sexo y género, y análisis de género; en segundo lugar, se comprometió la implementación de procesos de provisión de bienes o servicios con perspectiva de género; y, finalmente, acciones de comunicación y difusión interna y externa con perspectiva de género.

El detalle de lo implementado, en materia de género, se describe a continuación:

→ **Política y/o procedimientos de gestión de personas con perspectiva de género**

En el marco de esta medida, se actualizó el Protocolo de conciliación de la vida laboral, personal y familiar de la Comisión; se actualizaron los Procedimientos de Reclutamiento y Selección; se actualizó el Procedimiento de movilidad interna y egreso; y se actualizó el Procedimiento de prácticas profesionales con perspectiva de género.

→ **Capacitación avanzada en materia de género aplicado al quehacer del Servicio**

En 2023, culminaron satisfactoriamente todos los compromisos establecidos en materia de capacitaciones, mediante las cuales la comunidad funcionaria recibió diversas herramientas y conocimientos para ser aplicados en la gestión institucional. Ello consideró un “Curso Básico de Género” y un “Curso Avanzado de Género”. Este último contempló el “Curso de Liderazgo con Perspectiva de Género” y el “Curso de Mujeres y Participación Laboral”.

→ **Comunicación interna y externa con perspectiva de género**

Comprometimos acciones de difusión con enfoque de género, que contemplan actividades que buscan reconocer y visibilizar el rol y la contribución de las mujeres de la CCHEN, a nivel interno y externo.

Acciones externas:

En el plano de las comunicaciones externas, buscamos promover la mayor participación de mujeres en el área de la energía, en particular a través de las disciplinas de STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). La Institución comprometió y desarrolló las siguientes actividades con enfoque de género:

• Dos visitas:

- 1) Nos visitó la Asociación CreA, una asociación sin fines de lucro que desarrolla iniciativas con accesibilidad universal al arte, la cultura y la educación. Uno de los enfoques que incorpora en sus ámbitos de acción es sobre género e inclusión. En ese contexto, recibimos a dos de sus miembros, en marzo de 2023, en el Centro de Estudios Nucleares La Reina. Se planteó la posibilidad de realizar acciones de colaboración que terminaron derivando en la postulación de CreA a nuestro Consejo de la Sociedad Civil, del cual forman parte.
- 2) Una segunda visita fue la efectuada por Científicamente Mujeres en agosto de 2023. Se trata de un espacio de divulgación científica de investigaciones realizadas por científicas en un espacio amable y entendible para todas las personas. Las representantes de la Agrupación fueron recibidas por el jefe de reactor RECH-1, Luis Manríquez; y la encargada de género CCHEN, Marcela Ojeda, ambos integrantes de la Mesa Interna de Género. Manríquez y Ojeda se refirieron no sólo a la contribución que realiza la Institución a través del reactor, sino que también a iniciativas que realiza la Comisión en materia de género.
- 3) Para conocer lo que hace la CCHEN y explorar posibilidades de colaboración, Ariadna Beneventi y Martina Figueroa, representantes de la directiva de Asociación de Mujeres Jóvenes por las Ideas (AMUJI), visitaron el Centro de Estudios Nucleares La Reina, para reunirse con el equipo de Comunicación Corporativa. Posterior a ello, conversaron y visitaron el reactor RECH-1 y el Centro de Física Nuclear y Espectroscopia de Neutrones.
- 4) Recibimos la visita de 34 alumnas de 2° medio del colegio Ascensión Nicol (Estación Central) y su profesor, quienes desarrollaron una serie de actividades en el Centro de Estudios Nucleares La Reina, incluida la visita a algunas de las principales instalaciones, destacando el reactor de investigación RECH-1, los laboratorios del Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos y el área del invernadero del Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables.

- Una pasantía

En noviembre de 2023, recibimos a cinco estudiantes de 2° medio del colegio Ascensión Nicol, quienes estaban realizando un proyecto Explora del Ministerio de Ciencia, Conocimiento y Tecnología, sobre la seguridad de los reactores en Chile en caso de un terremoto. Las alumnas se reunieron con el encargado de Participación Ciudadana, Gonzalo Morgado, quien las guio en el proceso, previo al encuentro con los profesionales que operan en el reactor. Tras lo anterior, efectuaron una visita a dicha instalación para realizar todas las consultas pertinentes, y conocer in situ su modalidad de operación.

- Un taller

Este taller, con enfoque de género, se realizó en noviembre de 2023, en el marco de la visita efectuada por 34 alumnas de 2° medio del colegio Ascensión Nicol. Las estudiantes participaron en una jornada educativa con enfoque de género, que comenzó con una charla introductoria en materia de género, para luego realizar una visita por algunas instalaciones, operadas –en su mayoría– por mujeres. Finalmente, el curso participó en un taller, en el que tuvieron que aplicar los conocimientos aprendidos, a través del desarrollo de una actividad dinámica.

Adicionalmente, la Institución organizó o participó en otras actividades vinculadas a la materia.

- **"El viaje de ser ingeniera, para futuras ingenieras"**, organizado por Mujeres Ingenieras, donde Daniela Ulloa, jefa (s) de la División de Investigación y Aplicaciones Nucleares de la CCHEN, participó para dar a conocer su experiencia como ingeniera, a niñas escolares, con fines vocacionales. Fecha: 12 de junio de 2023 | HUB Providencia.
- **"Construyendo el futuro en energía, jornada de networking y mentoría para futuras ingenieras"**, organizado por Mujeres Ingenieras. Adriana Nario, directora del Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables; y Alicia Neira, profesional de Desarrollo del Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, asistieron a este encuentro. Fecha: 15 de junio de 2023 | HUB Providencia.
- **"WiNspire Meet-Up"**, organizado por WiN (Women In Nuclear) Young Generation en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Adriana Nario, directora del Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables; María José Yáñez, jefa de la Unidad de Protección Radiológica Ocupacional; y Macarena Meneses, jefa del Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos, fueron parte de un panel de conversación con alumnas y alumnos de la Facultad de Química y de Farmacia de la PUC. Durante esta instancia, las profesionales comentaron sobre sus carreras y trayectorias, de sus intereses y motivaciones, como así también sobre temas relacionados con género. Fecha: 25 de agosto de 2023 | Facultad de Química y de Farmacia, Campus San Joaquín, PUC.

Acciones internas:

En comunicaciones internas, adoptamos lenguaje inclusivo de género para contribuir a la visibilización social de ambos géneros y apuntar a una sociedad más igualitaria. Para eso, se priorizó el uso de lenguaje neutro y lenguaje sin sesgo de género.

Adicionalmente, se desarrolló una campaña interna, con motivo del Día Internacional de la Mujer, donde se reconoció a un grupo de funcionarias por su trayectoria y desempeño en la Institución.

VINCULACIÓN CON EL MEDIO

El Modelo de Vinculación Institucional busca implementar y relacionar el potencial institucional con los desafíos del entorno. Por ejemplo, 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.

Convenios firmados en el periodo

Contraparte del convenio	Nº Resolución	Descripción
Universidad Adolfo Ibáñez	018/2023	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.
Universidad de Valparaíso	019/2023	Apoyo mutuo para potenciar el desarrollo científico y tecnológico para el desarrollo y estudio de matrices biocompatibles y/o tejido con aplicabilidad terapéutica para medicina regenerativa e ingeniería de tisular.
Universidad Católica de Temuco	022/2023	Planificar, ejecutar y evaluar conjuntamente actividades en los ámbitos de docencia, investigación, extensión y vínculo.
Universidad de Chile	040/2023	Convenio específico de colaboración para desarrollar investigaciones de monitoreo de gases de efecto invernadero y el proyecto denominado "Medición de flujos de gases de efecto invernadero en sistemas orgánicos de cultivo de Vid".
Universidad de Tarapacá	093/2023	Convenio de cooperación a nivel nacional e internacional, es diversos aspectos relativos a la protección radiológica y dosimetría.
Administración Nacional de Seguridad Nuclear de EE.UU.	129/2023	Convenio de cooperación para impedir el robo y sabotaje de materiales radiológicos y nucleares.
Corporación de Fomento de la Producción	132/2023	Convenio de subsidio para el Proyecto Fortalecimiento de capacidades CCHEN para un desarrollo sostenible.
Centro Nacional de Experimentación de Tecnologías de Hidrógeno y Pilas de Combustible de España	134/2023	Aprueba acuerdo marco de colaboración para fomento y colaboración técnica en I+D

Actividades de vinculación externa

Además de los convenios descritos en el cuadro, destacan las siguientes actividades de colaboración en 2023:

- **Visita Viceministra de Ciencia y Tecnología de Venezuela.** La Viceministra de Ciencia y Tecnología de Venezuela, Gloria Carvalho, visitó instalaciones del Centro de Estudios Nucleares La Reina y Lo Aguirre, para conocer los ámbitos de acción y colaboración de la CCHEN en investigación, desarrollo, y regulación.
- **Workshop CCHEN-SERNAGEOMIN.** Para compartir conocimientos y fomentar la colaboración, profesionales de la CCHEN y SERNAGEOMIN, expusieron sobre geología de salares y capacidades analíticas en tema litio.
- **Visita de docentes e investigadores de la Universidad Católica del Maule.** Para visualizar oportunidades de colaboración, es que una delegación de docentes e investigadores de la UCM, visitaron el RECH-1 y conocieron las instalaciones del Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasma, Materia y Complejidad (P2mc) y del Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones (CEFEN).
- **Visita Centro Científico-Tecnológico de Valparaíso de la Universidad Técnica Federico Santa María.** Para desarrollar un trabajo colaborativo entre ambas instituciones, es que una delegación de profesionales del Centro Científico-Tecnológico de Valparaíso de la Universidad Técnica Federico Santa María visitó el Centro de Estudios Nucleares La Reina, ocasión en la cual no sólo conocieron en terreno las actividades de I+D de la CCHEN, sino además sostuvieron reunión y conversatorio con investigadores e investigadoras, funcionarios y funcionarias de la División de Investigación y Aplicaciones Nucleares.
- **Colaboración con Grupo de Física de Plasmas de la Pontificia Universidad Católica de Chile.** El objetivo fue aplicar el diagnóstico de scattering de Thomson y medir la temperatura del plasma en una descarga Z-pinch y descargas plasmas focus. Se ejecutaron cuatro campañas experimentales en la Universidad.
- **Fortalecimiento de la colaboración entre el Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones y el Departamento de Física de la Universidad de Atacama.** En octubre de 2023, el Dr. Francisco Molina fue invitado al Ciclo de Charlas de Física para Atacama, donde se realizó una reunión con la Vicerrectora de Investigación de la Universidad de Atacama, María José Gallardo. El propósito fue explorar oportunidades de colaboración entre el CEFEN y el Departamento de Física de la UDA.
- **Reunión “Chile inicia el proceso para ser Miembro Asociado de CERN” | Ginebra, Suiza | Julio 2023.** Durante la reunión en el Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), donde se formalizó la intención de Chile de convertirse en un País Miembro Asociado; un destacado grupo de científicos chilenos, incluido el Dr. Francisco Molina, líder del Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones de la CCHEN, fueron miembros de la comitiva que acompañó al Presidente de la República, Gabriel Boric.
- **Encuentro de Investigadores, Investigadoras y profesionales CCHEN - UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLITANA “Aplicaciones de la Tecnología Nuclear”.** Esta actividad se llevó a cabo en diciembre de 2023 y tuvo por objetivo exponer proyectos actuales, futuros y oportunidades de colaboración.
- **Reunión y conversaciones con investigador de Union of Concerned Scientists.** En diciembre de 2023 los investigadores del Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones (CEFEN), se reunieron con el Dr. Edwin Lyman de la Union of Concerned Scientists, con el objetivo de discutir sobre posibilidades de colaboración en el cálculo de parámetros cinéticos relacionados con la no proliferación en propuestas de nuevos combustibles nucleares para reactores avanzados.

- **Colaboración METS-Universidad Austral.** El Centro de Investigación de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética inicia nueva colaboración con el Instituto de Ciencias Químicas de la Universidad Austral, en específico en el “Proyecto de modificación catalítica de aceites desechados para la obtención de nuevos productos de valor”.
- **Colaboración CCHEN-Universidad Autónoma.** En enero de 2023 se establece colaboración científica y académica entre la U. Autónoma y la CCHEN, para promover la investigación conjunta y la participación de la CCHEN en procesos de formación de alumnos, especialmente en prácticas y tesis de pregrado.

Actividades de Divulgación y Capacitación

- **Congreso Futuro | Santiago, Chile | Enero 2023.**
El investigador y director del P²mc, Leopoldo Soto, participó como conferencista en Congreso Futuro 2023 “Sin Límite Real”, con la conferencia “Fusión Nuclear ¿Energía Sin Límite?”.
- **Evento “Ciencia Bajo las Estrellas” | Pichilemu, Chile | Enero 2023.**
Participación del investigador del centro P²mc, Dr. Gonzalo Avaria en el evento de Fundación Punta de Lobos, Pichilemu, con la charla: “Energía Nuclear: el complemento perfecto”.
- **2° taller “AtomZOOM 2023: Vocaciones STEM en la CCHEN” | Santiago, Chile | Enero 2023.**
Evento fue organizado por la CCHEN, para orientar vocacionalmente a alumnos y alumnas de enseñanza media en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, relacionadas a la misión institucional. El taller contó con el apoyo de diversos/as profesionales, investigadores e investigadoras CCHEN y contó con la participación de 14 escolares de la Región Metropolitana.
- **Charlas del Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones.**
En enero, julio, octubre y noviembre de 2023, investigadores del CEFNEN realizaron charlas a lo largo del país, tituladas “Cazando Neutrones por Chile”. Estas se llevaron a cabo en la Universidad de La Serena, Universidad de Atacama y Centro Cultural de Atacama (Copiapó), Universidad de Concepción, Universidad de La Frontera (Temuco), Pontificia Universidad Católica Sede Villarrica y Universidad Austral (Valdivia).
- **Taller de Dosimetría Citogenética para programa de Magíster Instituto de Física - Pontificia Universidad Católica de Chile | Santiago, Chile | Mayo 2023.**
Este evento fue organizado por el Laboratorio de Dosimetría Citogenética de la CCHEN para apoyar la formación de capital humano avanzado, específicamente alumnos y alumnas del Magister en Física Médica de la Universidad Católica. El objetivo fue entregar conocimientos básicos para la evaluación de la dosis a través de parámetros biológicos, así como en la contribución de la dosimetría biológica en el ámbito de la protección radiológica, y en casos de emergencia radiológica o nuclear.
- **Curso regional “Apoyo a Físicos Médicos para Emergencias Nucleares y Radiológicas” | Santiago, Chile | Agosto 2023.**
Evento fue organizado por la CCHEN, en el marco del proyecto regional del OIEA “Fortalecimiento de las capacidades regionales para usuarios finales y organizaciones de apoyo técnico en materia de protección radiológica y de preparación y respuesta para casos de emergencias de conformidad con los requisitos del OIEA”. El objetivo fue capacitar a físicos médicos en el potencial rol ante situaciones de emergencia radiológica y su participación y contribución en tales situaciones. Participaron como expertos nacionales y relatores seis funcionarios de la CCHEN.
- **Taller Regional en América Latina para presentar a los Estados Miembros el Sistema de Información para Autoridades Reguladoras (RAIS+) | Santiago, Chile | Agosto 2023.**
Jefaturas de la División de Seguridad Nuclear y Radiológica de la CCHEN compartieron su experiencia en el uso e incorporación de dicha plataforma al quehacer regulador, lo que permitió digitalizar el proceso de evaluación de autorizaciones especiales, reduciendo los plazos de otorgamiento. Esto posicionó a CCHEN como líder mundial en la incorporación y personalización de RAIS+ a procesos regulatorios en el ámbito radiológico.
- **Ciclo de Charlas CCHEN I+D | Santiago, Chile | Julio-Agosto-Septiembre 2023.**
El objetivo fue mostrar los resultados de las líneas de investigación de la institución, sus resultados y aportes

que dichas investigaciones pueden significar para el país. Se realizaron 18 charlas sobre: efectos fisiológicos y genéticos del uso de radiaciones ionizantes para el mejoramiento de la adaptabilidad de las especies vegetales, inocuidad alimentaria: uso de técnicas nucleares para el fortalecimiento de la apicultura nacional en el ámbito de la sanidad y el fraude alimentario, uso eficiente de los recursos naturales y químicos en sistemas agroclimáticos, geoquímica ambiental: evaluación integrada de áreas potencialmente contaminadas mediante el estudio de suelos, agua y aire e impacto en salud pública, metodologías de obtención de elementos críticos para la industria energética y nuevos materiales para almacenamiento y conversión eficiente de energía.

- **Pasantía de Médicos Nucleares 2023 | Santiago, Chile | Agosto-Septiembre 2023.**

Evento organizado por la CCHEN para poner a disposición de los profesionales en formación de la especialidad en medicina nuclear, información técnica con la experticia de los y las profesionales en las áreas propias de la CCHEN, para contribuir a transferir conocimiento que apoye y fortalezca a las alumnas y alumnos de esta pasantía en los escenarios que puedan desarrollar en su área laboral. Participaron 20 profesionales CCHEN como expositores(as) en la ejecución de clases teóricas y prácticas. En 2023 participaron 5 estudiantes de medicina provenientes de la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile.

- **Evento Ciclo de Charlas en Fundación Planetario de la USACH | Santiago, Chile | Octubre 2023.**

El investigador y director del Centro P2mc, Leopoldo Soto Norambuena, dictó la charla "La física detrás de Oppenheimer" en el Planetario de la Universidad de Santiago de Chile.

- **Evento "NuclearFest" USACH-CCHEN | Santiago, Chile | Octubre 2023.**

Este evento buscó divulgar hacia la comunidad el conocimiento nuclear y sus aplicaciones pacíficas. NuclearFest fue organizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Santiago de Chile y la CCHEN. En la ocasión diversos profesionales e investigadores de CCHEN ejecutaron charlas en temas de física de plasmas y fusión nuclear, proyectos de investigación de la CCHEN, gestión de desechos radiactivos, red women in nuclear Young Generation y Opinión Pública e Información, entre otros. También participaron del evento profesionales y académicos de la Universidad Técnica Federico Santa María, del Departamento de Ingeniería Industrial de la USACH, de la Universidad Católica de Chile, de la Universidad de Tarapacá, la Red LANENT y CIEN Chile.

- **Curso Básico de Protección Radiológica (CUBEPRO) | Santiago, Chile | Noviembre 2023**

El objetivo es formar capacidades en la prevención y uso seguro de equipos y fuentes generadoras de radiaciones ionizantes, así como proporcionar conocimientos sobre el manejo de emergencias radiológicas, la legislación vigente y los cuidados necesarios con el medioambiente. Participaron 11 trabajadores/as, tanto de la CCHEN, como de las áreas industrial, minera y salud.

- **Visita Científica al Consejo de Seguridad Nuclear | Madrid, España | Noviembre - Diciembre 2023.**

Una analista de seguridad radiológica de la División de Seguridad Nuclear y Radiológica de la CCHEN participó de una visita científica a la Dirección Técnica de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear de España. El alcance de tal actividad incluyó la revisión, aprendizajes y retroalimentación mutua en relación a los procesos de inspección y evaluación de instalaciones de medicina nuclear.

ANEXO 1

Proyectos postulados 2023

N°	Nombre del proyecto	Jefe/a proyecto	Institución principal	Contraparte CCHEN	Unidad CCHEN	Entidades externas asociadas	Fondo de financiamiento/ versión	Fecha de postulación
1	Ensayos no destructivos en puentes como infraestructura crítica de conectividad de la población	Mario Barrera	CCHEN	-	DRICN	-	Ministerio Ciencias / Desafíos públicos 2023	15-02-23
2	Reciclado y valorización de residuos degradados de paneles solares	María Luisa Valenzuela	Universidad Autónoma	Julio Urzúa	METS	Cristalerías Chile Ministerio de Energía	ANID / Concurso IDeA 2023	18-04-23
3	Sistema de esterilización para aloinjertos usados en terapia	Débora Buendía	Universidad de Valparaíso	Ethel Velásquez	CINASB	-	ANID / Concurso IDeA 2023	18-04-23
4	Center for local legumes valorization through sustainable production and enhanced functional value	Andrés Schwember Neira	Pontificia Universidad Católica de Chile	Adriana Nario	CTNEV		ANID / Concurso Anillos de investigación en áreas temáticas específicas 2023	03-05-23
5	Fortalecimiento de Capacidades CCHEN para un desarrollo sostenible	Luis Huerta	CCHEN	-	DGIIn	-	CORFO / Fortalecimiento de ITP - Etapa Perfil	08-05-23
6	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 Joaquín Hernández	CCHEN	-	METS	-	ANID / FONDECYT Iniciación 2024	03-04-23
7	Transient Monte Carlo in a research nuclear reactor with individual beta-delayed neutron precursors and comparison with time-dependent reactor experiments	Jaime Romero	CCHEN	-	CEFNEIn	-	ANID / FONDECYT Iniciación 2024	03-04-23
8	MOLECULAR IMAGING CENTER, Chile	Leopoldo Soto	CCHEN	-	P2mc	Instituto de Salud Pública, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Atacama,	ANID / Fondequip Mayor 2023	16-05-23

Universidad de Chile,
 Universidad de Concepción,
 Universidad de Los Andes,
 Universidad del Desarrollo,
 Universidad Mayor,
 Universidad Andrés Bello

9	Nueva tecnología para purificación de salmueras de litio: aumento de eficiencia y valor agregado al producto nacional	Julio Urzua	CCHEN	-	METS	-	ANID / Concurso Tecnología Avanzada 2023	30-05-23
10	Confocal - Raman - AFM para habilitar el análisis de material nuclear a nivel nacional, y fortalecer la investigación de materiales aplicados en energía, salud, cultura y medio ambiente	María José Inestrosa I.	CCHEN	-	METS	-	ANID / Fondecyt Regular Mediano 2023	07-06-23
11	Use of a kilojoule plasma focus device as a high-dose-rate pulsed radiation source to study the induction and repair of DNA damage	José Moreno	CCHEN	-	P2mc	-	ANID / Fondecyt Regular 2024	19-06-23
12	Studies on the effects of radiation and Non-thermal plasma on MicroTom tomato: plant development and fruit productivity	Daniel Villegas	CCHEN	-	CTNEV	-	ANID / Fondecyt Regular 2024	19-06-23
13	Novel P-containing metallic polyanionic nanoparticles, with pathways to their use in lithium-ion battery systems	María Valenzuela	Universidad Autónoma	Julio Urzúa	METS	-	ANID / Fondecyt Regular 2024	19-06-23
14	Development of flexible materials for shielding and moderation of neutron radiation potentially applied to leading edge technologies	Héctor Aguilar Bolados	Universidad de Concepción	Francisco Molina	CEFNE	U. de Chile	ANID / Fondecyt Regular 2024	19-06-23
15	Ciencia y tecnología nuclear: Enseñanza e investigación en el contexto nacional y regional	Alejandro Prada	Universidad Católica del Maule	Francisco Molina Julio Urzúa	CEFNE METS	-	ANID / Concurso de fomento a la vinculación internacional para instituciones de investigación 2023	11-07-23

16	Red Colaborativa Hispanoamericana para el desarrollo científico-tecnológico en almacenamiento de energía	María Valenzuela	Universidad Autónoma	Julio Urzúa	METS	-	ANID / Concurso de fomento a la vinculación internacional para instituciones de investigación 2023	11-07-23
17	Fortalecimiento de la cadena productiva apícola mediante el desarrollo e implementación de un sistema integrado de datos analíticos para la certificación de la autenticidad y origen a través de técnicas nucleares y moleculares	Enrique Mejías	CCHEN	-	CTNEV	Federación Red Apícola Nacional F. G	FIA Convocatoria Nacional de Proyectos de Innovación 2023	11-07-23
18	Radiación ionizante para mejorar la germinación y el crecimiento inicial de plantas de especies forestales nativas vulnerables (Palma chilena, Queule, Boldo, Quillay) frente al cambio climático	Patricio Rojas	INFOR	Daniel Villegas	CTNEV	-	ANID / Concurso IDeA I+D 2024	05-10-23
19	Aseguramiento de la autenticidad y origen de mieles chilenas mediante el desarrollo e implementación de una plataforma integrada de datos con la huella isotópica, botánico molecular y fisicoquímica para el fortalecimiento de la cadena productiva apícola nacional	Enrique Mejías	CCHEN	-	CTNEV	-	FIA / Convocatoria Nacional de Proyectos de Innovación en Sistemas Alimentarios Sostenibles	03-10-23
20	Sistema de esterilización para aloinjertos usados en terapia	Débora Buendía	Universidad de Valparaíso	Ethel Velásquez	CINASB	-	ANID / Concurso IDeA I+D 2024	05-10-23
21	Reciclaje y valorización de residuos de paneles solares fotovoltaicos desechado	María Valenzuela Valdés	Universidad Autónoma	Julio Urzúa	METS	-	ANID / Concurso IDeA I+D 2024	05-10-23
22	Trazabilidad de vacunas orales y por inmersión en la acuicultura	Andrea Rivas	Pontificia Universidad Católica de Chile	Adriana Nario	CTNEV	-	ANID / Concurso IDeA I+D 2024	05-10-23

ANEXO 2

Proyectos adjudicados 2023

N°	Nombre proyecto	Jefe/a proyecto	Institución principal	Contraparte CCHEN	Unidad CCHEN	Entidades externas asociadas	Fondo de financiamiento/versión
1	Fortalecimiento de Capacidades CCHEN para un desarrollo sostenible	Luis Huerta	CCHEN	-	DGIN	-	CORFO / Fortalecimiento de ITP - Etapa Perfil
2	Transient Monte Carlo in a research nuclear reactor with individual beta-delayed neutron precursors and comparison with time-dependent reactor experiments	Jaime Romero	CCHEN	-	CEFEN	-	ANID / FONDECYT Iniciación 2024
3	Confocal - Raman - AFM para habilitar el análisis de material nuclear a nivel nacional, y fortalecer la investigación de materiales aplicados en energía, salud, cultura y medio ambiente	María José Inestrosa	CCHEN	-	METS	-	ANID / Fondequip Mediano 2023
4	Use of a kilojoule plasma focus device as a high-dose-rate pulsed radiation source to study the induction and repair of DNA damage	José Moreno	CCHEN	-	P2mc	-	ANID / Fondecyt Regular 2024
5	Ciencia y tecnología nuclear: Enseñanza e investigación en el contexto nacional y regional	Alejandro Prada	Universidad Católica del Maule	Francisco Molina y Julio Urzúa	CEFEN METS	-	ANID / Concurso de Fomento a la Vinculación Internacional para Instituciones de Investigación 2023

-

ANEXO 3

Proyectos en ejecución 2023

N°	Nombre del proyecto	Jefe/a proyecto	Institución principal	Contraparte CCHEN	Unidad CCHEN	Entidades externas asociadas	Fondo de financiamiento – Versión	Fecha inicio	Fecha término
1	Desarrollo de un sistema de nanohidrometalurgia magnética para la obtención de salmueras de litio de alta pureza	María José Inestrosa	CCHEN	-	METS	-	CCHEN	2021	2024
2	Implementación de un equipo de sputtering para el desarrollo de ionanofluidos para el almacenamiento y transferencia de energía	María José Inestrosa	CCHEN	-	METS	-	CCHEN	2021	2024
3	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	CCHEN	-	METS	-	ANID/ FONDECYT Iniciación 2022	2022	2025
4	Estudio de mezclas de líquidos iónicos como fluido de almacenamiento y transferencia de energía solar	Julio Urzúa	CCHEN	-	METS	-	CCHEN	2021	2024
5	Caracterización Eléctrica de materiales	Ricardo Ávila	CCHEN	-	METS	-	CCHEN	2021	2024
6	Recuperación de metales de valor desde relaves mineros de la III y IV región, mediante procesos de lixiviación por agitación	José Joaquín Hernández	CCHEN	-	METS	-	CCHEN	2021	2024
7	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	CCHEN	-	CTNEV	INFOR	FIC-R Biobío	2022	2023
8	Dinámica del boro en cerezo como respuesta a tres niveles del elemento en suelo y efecto sobre calcio	Adriana Nario	CCHEN	-	CTNEV	-	OIEA CRP	2019	2023
9	Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del Impacto Radiológico Ambiental	Adriana Nario	-	-	CTNEV	-	OIEA CRP	2022	2025
10	Uso de isótopos estables (¹³³ Cs y ⁸⁸ Sr) como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de los radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura	Adriana Nario	-	-	CTNEV	-	OIEA CRP	2019	2024
11	Effect of N fertilization amount and form (NH ₄ ⁺ or NO ₃ ⁻) on Ca nutrition of blueberry (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) in Andisol soils of	Claudia Bonomelli	Pontificia Universidad Católica	Adriana Nario	CTNEV	-	ANID / FONDECYT Regular 2023	2023	2025

	Southern Chile								
12	Uso de bajas dosis de radiación ionizante para estudiar la respuesta hormética sobre especies agrícolas	Daniel Villegas	-	-	CTNEV	-	CCHEN	2021	2024
13	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	-	OIEA ARCAL	2022	2025
14	Sources and atmospheric dynamics of total gaseous mercury and particle bound heavy metals in a mega-industrial area in central Chile	Richard Toro	Universidad de Chile	Ana Valdés	CTNEV	-	ANID / FONDECYT Regular 2022	2022	2024
15	Uso de radiación y técnicas para mejoramiento genético	Daniel Villegas	-	-	CTNEV	-	OIEA CHI	2022	2024
16	Sistema nacional de referencia para verificar la autenticidad y determinar el origen de los alimentos mediante el uso de técnicas nucleares isotópicas	Enrique Mejías	-	-	CTNEV	-	OIEA CHI	2022	2024
16	Desarrollo de metodología para inducir mutaciones en variedades de papa nativa chilena para la resistencia a enfermedades	Doris Ly	-	-	CTNEV	-	CCHEN	2021	2024
17	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	-	-	P2mc	-	ANID / FONDECYT Regular 2019	2019	2023
18	Investigación fundamental en dispositivos Plasma focus de baja energía en régimen de alta emisión de neutrones	Cristian Pavez	-	-	P2mc	-	ANID / FONDECYT Regular 2021	2021	2024
19	Propulsor de plasma miniaturizado para nanosatélites CubeSat	Leopoldo Soto	-	-	P2mc	-	ANID / FONDECYT Regular 2021	2021	2024
20	Mecánica Estadística Bayesiana: Teoría y herramientas computacionales para sistemas fuera del equilibrio con interacciones de largo alcance	Sergio Davis	-	-	P2mc	-	ANID / FONDECYT Regular 2022	2022	2025
21	Estudios sobre el proceso de expansión de plasma térmico supersónico helicoidal para la síntesis de nanopartículas a base de litio para dispositivos de almacenamiento de energía: estudios de viabilidad para llevarlo a escala industrial	Biswajit Bora	-	-	P2mc	-	ANID / Fondecyt Regular 2023	2023	2026
22	Investigación sobre efectos de la radiación pulsada: desarrollo y optimización de una fuente de radiación pulsada de nanosegundos basada en el dispositivo de foco de plasma	Jalaj Jain	-	-	P2mc	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2023	2023	2026
23	Estudio de radiomarcación de [99mTc]PSMA	Roberto	-	-	CINASB	-	CCHEN	2021	2024

	utilizando ^{99m}Tc obtenido a partir de generador de $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ y obtenido mediante activación neutrónica en el RECH-1	Mercado							
24	Estudio del efecto a nivel celular y molecular de las radiaciones ionizantes sobre sistemas biológicos	Ethel Velásquez	-	-	CINASB	-	CCHEN	2021	2024
25	Espectroscopia de neutrones de rayos cósmicos y estudios de medición simultánea de variables locales en todo Chile	Francisco Molina	-	-	CEFNE	-	ANID / Fondecyt Regular 2022	2022	2025
26	Estudio, monitoreo y caracterización espectroscópica de fuentes de neutrones de fondo cósmico	Francisco Molina	-	-	CEFNE	-	CCHEN	2021	2024
27	Estudio y caracterización espectroscópica de fuentes de neutrones continuas como haces de reactor	Marcelo Zambra	-	-	CEFNE	-	CCHEN	2021	2024
28	Estudio y caracterización espectroscópica de fuentes de neutrones pulsadas tales como neutrones de reacciones de fusión en dispositivos Plasma Focus	Marcelo Zambra	-	-	CEFNE	-	CCHEN	2021	2024

ANEXO 4

Publicaciones de investigadores e investigadoras CCHEN en 2023:

Publicaciones aceptadas

Clasificación	Número
Q1 – Q2	16
Q3 – Q4	3
Sin cuartil	5
Total	24

Tabla de publicaciones aceptadas en 2023

N°	Centro	Nombre Artículo	Autores	Revista	Fecha aceptación	Cuartil
1	CEFENEN	Half-life measurement using implant - (β - γ) time correlations in the region of neutron-rich lanthanides*	A. Vitéz-Sveiczzer, S. Kovács, G.G. Kiss, 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, R. Krücken, S. Kubono, M. Labiche, J. Liu, J. Liang, M. Madurga, K. Miernik, <u>Francisco Molina</u> , A.I. Morales, M.R. Mumpower, E. Nacher, A. Navarro, N. Nepal, S. Nishimura, M. Piersa-Siłkowska, V.	Acta Physica Polonica B	09/01/2023	Q3

			Phong, B.C. Rasco, B. Rubio, K.P. Rykaczewski, <u>Jaime Romero</u> , H. Sakura, L. Sexton, Y. Shimizu, M. Singh, T. Sprouse, T. Sumikama, R. Surman, H. Suzuki, T.N. Szegedi, H. Takeda, A. Tolosa-Delgado, K. Wang, M. Wolinska-Cichocka, P. Woods, R. Yokoyama, Z. Xu			
2	CEFNE	Development of transient Monte Carlo in a fissile system with β -delayed emission from individual precursors using modified open-source code OpenMC (TD)	<u>Jaime Romero</u> , <u>Francisco Molina</u> , José Ignacio Márquez Damián, <u>Marcelo Zambra</u> , Patricio Aguilera, Franco López-Usquiano, Selene Parra	Nuclear Engineering and Technology	3/02/2023	Q2
3	CEFNE	Study of decay properties for Ba to Nd nuclei relevant for the formation of the r-process rare-earth peak ($A \sim 160$)	M. Pallàs, A. Tarifeño-Saldivia, G. G. Kiss, J. L. Tain, A. Tolosa-Delgado, A. Vitéz-Sveicz, F. Calviño, J. Agramunt, P. Aguilera, A. Algora, J. M. Allmond, H. Baba, N. T. Brewer, R. Caballero-Folch, P. J. Coleman-Smith, G. Cortes, T. Davinson, I. Dillmann, C. Domingo-Pardo, A. Estrade, N. Fukuda, S. Go, C. J. Griffin, R. K. Grzywacz, O. Hall, L. J. Harkness-Brennan, T. Isobe, D. Kahl, T. T. King, A. Korgul, S. Kovács, S. Kubono, M. Labiche, J. Liu, M. Madurga, K. Miernik, <u>Francisco Molina</u> , N. Mont-Geli, A. I. Morales, E. Náchter, A. Navarro, N. Nepal, S. Nishimura, M. Piersa-Silkowska, V. Phong, B. C. Rasco, Jaime Romero, B. Rubio, K. P. Rykaczewski, Y. Saito, H. Sakurai, Y. Shimizu, M. Singh, T. Sumikama, H. Suzuki, T. N. Szegedi, H. Takeda, K. Wang, M. Wolińska-Cichocka, P. J. Woods and R. Yokoyama for the BRIKEN collaboration	EPJ Web of Conferences	06/03/23	Sin cuartil
4	CEFNE	The β -decay of ^{71}Kr : Precise measurement of the half-life	A. Vitéz-Sveicz, A. Algora, G.G. Kiss, B. Rubio, A.I. Morales, P. Sarriguren, G. de Angelis, F. Recchia, S. Nishimura, J. Agramunt, V. Guadilla, A. Montaner-Pizá, S.E.A. Orrigo, Á. Horváth, D. Napoli, S. Lenzi, A. Boso, V. Phong, P.-A. Söderström, T. Sumikama, H. Suzuki, H. Takeda, D.S. Ahn, H.	EPJ Web of Conferences	06/03/23	Sin cuartil

Baba, P. Doornenbal, 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, T. Kurtukián Nieto, C. Magron, W. Gelletly, Zs. Dombrádi, Y. Fujita, M. Tanaka, P. Aguilera, Francisco Molina, 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

5	P2mc	Design and stability analysis of a digital Automatic Power control based on a PI controller for Laser Drivers	José Pedreros, Alex Becerra, Javier Rojas, <u>Cristian Pavez</u> , Marcos Díaz	Machines	7/03/2023	Q2
6	P2mc	Temperature distribution in finite systems: Application to the one-dimensional Ising chain	Constanza Farías, <u>Sergio Davis</u>	European Physical Journal B	13/03/2023	Q3
7	CEFEN	Beta decay along the N=Z line and its relevance in rp-process and X-Ray bursts	E. Nácher*, S. Parra, J.A. Briz, P. Aguilera, J. Agramunt, A. Algora, T. Berry, M.J.G. Borge, M. Carmona, L.M. Fraile, E. Ganioglu, W. Gelletly, V. Guadilla, A. Illana, R. Lică, I. Marroquín, <u>Francisco Molina</u> , A.I. Morales, N. Orce, S.E.J. Orrigo, A. Perea, <u>Jaime Romero</u> , B. Rubio, C. Sotty, J.L. Taín, O. Tengblad and A. Tolosa for the IS570 collaboration	EPJ Web of Conferences	22/03/2023	Sin cuartil
8	METS	Direct copper recovery from pregnant leaching solutions (PLS), using a custom electrolytic cell, based on reactive electrodialysis (RED)	<u>José Hernández</u> , Jaime Tapia	Mineral Processing and Extractive Metallurgy	28/03/2023	Q1
9	CEFEN	Environmental monitoring possibilities using cosmic ray secondary components	P.G. Kobelev, L.A. Trefilova, V.G. Yankee, <u>Francisco Molina</u> , <u>Jaime Romero</u> , <u>Marcelo Zambra</u>	Bulletin of the Russian Academy of	29/03/2023	Q3

10	CTNEV	Efecto de diferentes dosis de radiación gamma en una plantación recién establecida de Eucalyptus nitens en la Región del Biobío	Patricio Rojas Vergara, Jorge González Campos, María Molina Brand, Laura Koch Zúñiga, Tamara Vega, <u>Ethel Velásquez</u> , <u>Daniel Villegas</u> , <u>Doris Ly</u> , Eulogio De la Cruz, Josefina González	Sciences: Physics Ciencia & Investigación Forestal	31/03/2023	-
11	P2mc	Use of a Plasma Focus Device to study pulsed X-rays effects on Peripheral Blood Lymphocytes: Analysis of Chromosome Aberrations	<u>Valentina Verdejo</u> , <u>Analía Radl</u> , Joan-Francesc Barquinero, <u>Jalaj Jain</u> , <u>Sergio Davis</u> , <u>Cristian Pavez</u> , <u>Leopoldo Soto</u> , <u>José Moreno</u> .	Journal of Applied Physics	7/04/2023	Q2
12	DRTeC	Quantifying the potential seepage from porphyry copper tailing impoundments using a multi-isotopic approach	Dídac Navarro, Agnés Saleta, Neus Otero, Clara Torrentó, Carlos Quintana, Diego San Miguel, Mónica Musalem, Gullibert Novoa, Cristóbal Carrasco, Evelyn Aguirre, <u>Manuel Escudero</u> , Albert Soler	Science of the total environment	22/05/2023	Q1
13	P2mc	Danger assessment of the partial discharges temporal evolution on a polluted insulator using UHF measurement and deep learning	Luis Orellana, Jorge Ardila-Rey, <u>Gonzalo Avaria</u> , <u>Sergio Davis</u>	Engineering Applications of Artificial Intelligence	30/05/2023	Q1
14	CTNEV	Use of low dose gamma radiation to promote the germination and early development in seeds	<u>Daniel Villegas</u> , Constanza Sepúlveda, <u>Doris Ly</u>	Seeds Biology - Advances	09/06/2023	-
15	P2mc	A novel Bayesian reconstruction of the configurational density of states	Felipe Moreno, <u>Sergio Davis</u> , Joaquín Peralta, Simón Poblete	Computational Materials Science	09/06/2023	Q1

16	METS	Ionic liquid mixtures as energy storage materials: a preliminary and comparative study based on thermal storage density	<u>Julio Urzúa</u> , María Luisa Valenzuela, Jenifer Cavieres, <u>María José Inestrosa</u>	RSC Advances	19/06/2023	Q2
17	P2mc	Bayesian inference of plasma parameters from collective Thomson scattering technique on a gas-puff near stagnation	Miguel Escolana, J. C. Valenzuela, <u>Gonzalo Avaria</u> , F. Veloso, E. S. Wyndham	Scientific reports	02/08/23	Q1
18	CEFEN	Fluorosilicone Composites with Functionalized Graphene Oxide for Advanced Applications	Ernesto Águila-Toledo, Santiago Maldonado-Magnere, Mehrdad Yazdani-Pedram, Allan Bascuñán-Heredia, Mohamed Redoine Dahrouch, Francisco Molina, Marianella Hernández Santana, Raquel Verdejo, Miguel A. López-Manchado, and Héctor Aguilar-Bolados*	ACS Applied Polymer Materials	25/08/23	Q1
19	CTNEV	A new approach to detecting sugar syrup addition to honey: Stable isotope analysis of hexamethylenetetramine synthesised from honey monosaccharides (fructose and glucose)	An Li, Aiman Abraham, Marivil Islam, <u>Enrique Mejías</u> , Nur Hafizati Abdul Halim, Russell Frew, Christina Vlachou, Simon D. Kelly	Food Chemistry	08/09/23	Q1
20	P2mc	Configurational density of states and melting of simple solids	<u>Sergio Davis</u> , Claudia Loyola, Joaquín Peralta	Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	14/09/2023	Q2
21	P2mc	The presence of high-energy neutrons in neutron pulses emitted from a kilojoule plasma focus device: Deuterium as a working gas	<u>Jalaj Jain</u> , <u>José Moreno</u> , Hernán Loyola, <u>Sergio Davis</u> , <u>Biswajit Bora</u> , <u>Leopoldo Soto</u>	Physics of Plasmas	01/10/2023	Q1

22	METS	Tailored Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles for Specific Applications Using a Statistical Experimental Design	<u>María José Inestrosa Izurieta</u> , <u>Diego Vilches</u> , <u>Julio Urzua</u>	Heliyon	16/10/2023	Q1
23	P2mc	Kappa distribution from particle correlations in nonequilibrium, steady-state plasmas	<u>Sergio Davis</u> , <u>Gonzalo Avaria</u> , <u>Biswajit Bora</u> , <u>Jalaj Jain</u> , <u>José Moreno</u> , <u>Cristian Pavez</u> , <u>Leopoldo Soto</u>	Physical Review E	12/11/2023	Q1
24	P2mc	Evaluating the Adiabatic Invariants in Magnetized Plasmas Using a Classical Ehrenfest Theorem	Abiam Tamburrini, <u>Sergio Davis</u> , Pablo Moya	Entropy	14/11/2023	Q2