



MEMORIA INSTITUCIONAL 2024

COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR

Oficina Asesora de Comunicación Corporativa
1a Edición

INTRODUCCIÓN

Desde 1964, la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) ha tejido -con ciencia, trabajo público y vocación de servicio- un patrimonio de conocimiento que pertenece a todo Chile. El año 2024 no fue la excepción: fue un escenario de restricciones presupuestarias y altas exigencias regulatorias, no obstante, avanzamos con sentido de urgencia y foco en las personas.

Consolidamos capacidades clave para la salud: aseguramos la producción y distribución nacional de Iodo-131 mediante una importante alianza con CENABAST; incrementamos las entregas de 18F-FDG y modernizamos equipamiento crítico -como el nuevo liofilizador farmacéutico- para retomar la provisión de kits liofilizados con estándares GMP. Ejecutamos auditorías internas y externas, y desplegamos un plan sanitario plurianual para elevar, de manera sistemática, la calidad y trazabilidad de nuestros procesos.

Sostuvimos además líneas que distinguen el rol público de la CCHEN: dosimetría y metrología para resguardar a las y los trabajadores expuestos a radiaciones; irradiación para salud y cadena alimentaria; fiscalización y control regulatorio del litio para resguardar el interés del Estado; investigación aplicada en materiales para la transición energética, física de plasmas y neutrones; y formación de capital humano con enfoque de género y colaboración internacional.

No puedo dejar de mencionar un proyecto que nos adjudicamos al finalizar 2024: CCHEN 360° representa el inicio de una nueva etapa institucional. Es la consolidación de la CCHEN como Instituto Tecnológico Público de referencia nacional e internacional. Este proyecto, financiado por Corfo, fortalece el sistema nacional de innovación al integrar las capacidades de todas las divisiones bajo un enfoque de ciencia aplicada.

Entre sus hitos más relevantes destacan la creación del Observatorio Tecnológico CCHEN, una plataforma estratégica para identificar tendencias, oportunidades de I+D, atraer inversión y articular redes de transferencia tecnológica; la implementación del primer laboratorio de referencia del litio en apoyo a la cadena productiva nacional; y el desarrollo de un Programa Integral de I+D+i en tecnologías avanzadas de energía, materiales y sostenibilidad, destinado a proyectar el conocimiento y la innovación nuclear de Chile hacia los desafíos del futuro.

Nada de lo anterior se explica sin las alianzas con universidades, hospitales, agencias del Estado, organismos internacionales y el compromiso diario de nuestras personas. Esta Memoria recoge resultados verificables y también aprendizajes: porque el estándar que nos guía es claro, hacer bien lo necesario, y hacerlo cada vez mejor.

Les invito a recorrer estas páginas con una mirada crítica y constructiva. La ciencia pública es una tarea compartida: sus comentarios y sus propuestas nos ayudan a priorizar, corregir y seguir sirviendo al país con tecnologías nucleares seguras, útiles y transparentes.

CCHEN SALUD

Radiofarmacia para el cáncer

Radioisótopos del Reactor RECH-1

En 2024 la producción de radioisótopos de reactor se continuó realizando en el Laboratorio de Radioquímica de Lo Aguirre, instalación que permite asegurar continuidad de la producción de los productos más demandados en Chile (^{99m}Tc , ^{131}I).

Se realizaron 129 producciones de radioisótopos: 65 de ^{99m}Tc , 53 de ^{131}I y 11 de cápsulas de gelatina. Hubo una disminución significativa en la producción de ^{99m}Tc en comparación con años anteriores (238 en 2023 a 65 en 2024). La producción de ^{131}I aumentó ligeramente (32 en 2023 a 53 en 2024).

Tabla 1: Comparación de cantidad de producciones realizadas.

Nº Producción	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024
^{99m}Tc	237	242	233	233	238	238	37	65
^{131}I	51	59	39	37	36	30	32	53
Total	288	301	272	270	274	268	69	118

Mejoras de proceso

1º trimestre 2024	Sin proyectos ejecutados
2º Trimestre 2024	Sin proyectos ejecutados
3º Trimestre 2024	Mejoras y avances en la implementación de la celda N° 3, que cumplirá un rol fundamental en las producciones de ^{131}I , como también en pruebas de mejoras en el proceso al tener una celda de respaldo
4º Trimestre 2024	Mantención programada por calendario donde se realizaron tareas de limpieza y cambio de material desgastado en las celdas, pasillo frío y caliente. Mantención en equipos cruciales en el proceso de Tecnecio como el Autoclave, permitiendo poder entregar un medicamento estéril. También se realizó gestión de desechos en subterráneo la cual no se realizaba desde el año anterior. Mejorando considerablemente las condiciones para las producciones

Hitos relevantes en la producción de Iodo-131

En 2024 alcanzamos un logro significativo al transformarnos en el único productor y distribuidor nacional del radiofármaco Iodo-131 (^{131}I). Este avance no sólo refuerza el liderazgo de la CCHEN en el ámbito de la medicina nuclear, sino que también responde a una necesidad crítica de garantizar el acceso oportuno a este Radiofármaco esencial en todo el país.

Este hito fue logrado gracias a una alianza estratégica con la Central Nacional de Abastecimiento (CENABAST), que ha permitido establecer una red de distribución eficiente, asegurando la disponibilidad del Iodo-131 en instituciones de salud de diversas regiones. Esta colaboración no solo optimiza la logística, sino que también promueve el acceso equitativo a tratamientos médicos de alta calidad, especialmente en el manejo de enfermedades como el cáncer de tiroides.

Con este avance, la CCHEN refuerza su compromiso con el desarrollo tecnológico, la soberanía productiva y el bienestar de la población, posicionándose como un actor clave en la promoción de la salud pública en Chile.

Radioisótopos de ciclotrón

En 2024 se realizaron 234 producciones de 18F-FDG, siendo mayor que el año pasado pudiendo observar nuestro crecimiento y compromiso con la salud de la población chilena.

En la tabla 2 se observa el histórico de la demanda del 18F-FDG desde sus inicios, donde se observa cómo se ha ido incorporando a la salud chilena este radiofármaco abastecido por la CCHEN.

Tabla 2: Dosis entregadas de 18FFDG por año.

Año	Nº Dosis entregadas
2022	1885
2023	2186
2024	2375

Liofilizados

El Laboratorio de Liofilizados principalmente cumple la función de producir los Juegos de reactivos o kits para marcación con 99mTc: MDP, MIBI, DMSA y ECD; que están dentro de los productos radiofármacos que comercializa la CCHEN.

En 2024 el Laboratorio de Liofilizados realizó producciones de Juegos de reactivos con el equipo liofilizador antiguo reparado en 2023, pero con limitaciones de operación que influyeron negativamente en la calidad de los productos liofilizados. Esto generó que ninguna de las partidas producidas lograra cumplir los requisitos para ser comercializada, por lo que la CCHEN no pudo abastecer de kits para marcación con tecnecio durante todo el año 2024.

Los recursos institucionales para renovar el liofilizador del laboratorio por uno farmacéutico calificable, fueron otorgados a la CCHEN a inicios de 2024. Durante el año se realizó el proceso de evaluación técnica de alternativas de liofilizadores, se gestionó la compra, se realizaron las modificaciones de infraestructura necesarias para la instalación del nuevo equipo, y se capacitó al personal. Finalmente se cuenta desde diciembre de 2024 con un equipo liofilizador nuevo de tecnología avanzada, habilitado y con calificación IQ/OQ para comenzar a retomar las producciones de kits liofilizados durante el primer trimestre de 2025.



Foto 1: Equipo que instaló y puso en operación el liofilizador: Oscar Casanova (Ltech Chile), Pamela Solar, Ximena Errazu (CCHEN), Pedro Choperena (Telstar España) y Jorge Romero (CCHEN).



Foto 2: Nuevo Liofilizador LyoBeta 3PS Telstar, instalado con configuración de área limpia en Laboratorio de Liofilizados CCHEN.

Se renovó el equipo Milli-Q para producir agua purificada en el laboratorio, pues el Milli-Q existente presentaba fallas intermitentes y por ser un modelo descontinuado ya no se encontraban repuestos.



Foto 3: Nuevo equipo purificador de agua Milli-Q IQ 7003 del Laboratorio de Liofilizados.

Eficiencia de las operaciones

Las nueve producciones realizadas con el liofilizador antiguo durante el año, fueron rechazadas por no cumplir todos los requisitos para fármacos inyectables liofilizados, lo que hizo que la eficiencia de las operaciones fuera nula. Estos resultados determinaron definitivamente dar de baja el liofilizador antiguo.

A pesar del mal funcionamiento de los procesos de liofilización, se realizaron todas las demás mantenciones, calibraciones y certificaciones de los equipos críticos de la instalación, programados para el año, exceptuando las programadas para los equipos dados de baja.

El Laboratorio de Liofilizados también acondicionó insumos y material de envase estériles para el Área de Producción de Reactor.

Se abasteció con el sistema de agua purificada del Laboratorio los requerimientos de agua para limpieza, y preparación de soluciones en Control de Calidad.

Recursos de la operación

El año 2024 el presupuesto asignado para las operaciones de rutina y mantenimiento en el Área Liofilizados fue de aproximadamente \$12.620.000, 50% menos respecto al año 2023 debido principalmente a que no fue necesario adquirir todas las materias primas para un año normal de producción. El presupuesto se utilizó principalmente para insumos, calibraciones y mantenimiento de equipos críticos del laboratorio.

El Área de Liofilizados funcionó durante el año 2024 con dos profesionales de dedicación completa y tres profesionales a partir de octubre. La función de higienización y limpieza fue realizada por personal perteneciente a Aseguramiento de Calidad.

Mejoras realizadas

Se renovó equipamiento crítico para los procesos productivos (Liofilizador y Purificador de agua), que permitirán cumplir con los compromisos pendientes en el Plan Sanitario.

Se presentó como Área Liofilizados el proyecto: “Fortalecimiento de las Capacidades Nacionales de Manufactura de Radiofármacos Liofilizados” dentro del Programa de Cooperación Técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para el ciclo 2026-2027, respaldado y aprobado por la CCHEN.

Capacitación al personal

- Curso: “Uso de la Norma 147 para el Almacenamiento y Distribución de Medicamentos” - Septiembre 2024
Asistente: Jorge Romero
- Curso: “Buenas Prácticas de Manufactura” - Noviembre 2024
Asistentes: Pamela Solar, Jorge Romero, Ximena Errazu
- Curso: “Cromatografía de Gases” - Diciembre 2024
Asistente: Jorge Romero
- Curso: “Validación de Procesos Farmacéuticos” - Diciembre 2024
Asistente: Jorge Romero.
- Taller Regional sobre Metodología del Marco Lógico para el Ciclo de Cooperación Técnica 2026-2027 - Diciembre 2024
Asistentes: Jorge Romero y Ximena Errazu

Control de calidad

Las operaciones del Laboratorio de Control de Calidad se desarrollaron de acuerdo con el marco sanitario normativo establecido y fiscalizado por el Instituto de Salud Pública (ISP). Este marco normativo se regula a través de diferentes normativas que en su conjunto componen las llamadas “Buenas prácticas de laboratorio y producción”, adicionalmente el laboratorio se enmarca en el cumplimiento de la normativa radiología adecuándose a lo señalado por el regulador radiológico. Logrando con esto establecer un hito en cuanto al incremento en la calidad de los procesos.

Se realizaron 428 ensayos que involucran radiofármacos y radioisótopos producidos en las áreas de producción de CCHEN según la siguiente distribución: 130 ensayos de 99mTc, 53 de 131I, 11 de cápsulas de 131I, 234 de 18FDG.

Adicionalmente, se analizaron insumos como material de envase empaque y materias primas empleadas para la manufactura de las distintas áreas productivas, adicionalmente a los servicios prestados a las áreas de producción, la sección de control de calidad debió planificar y ejecutar el plan de validaciones para las metodologías analíticas de los productos terminados determinado por el Instituto de salud pública para todos los laboratorios farmacéuticos de producción farmacéutica, las técnicas analíticas en proceso de validación abarcan las metodologías de análisis físico-químicas y microbiológicas todo esto para dar respuesta a diversas solicitudes de la autoridad sanitaria.

Desarrollo de capacidades humanas

Se capacitó al personal de control de calidad aspectos relacionados con buenas prácticas de laboratorio. Adicionalmente, los funcionarios Mauricio Sepúlveda y Mauricio Cabrera a una capacitación a México, para visualizar nuevas alternativas de productos y mejorar los procesos actuales del laboratorio.

Sección Aseguramiento de Calidad

Simulacro retiro de producto de mercado

La actividad se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas en el procedimiento interno PRT-DPR-014: “Retiro de Producto de Mercado”, en su versión vigente. Esta acción se realizó el 21 de octubre de 2024 y, en esta ocasión, se coordinó juntamente con el Departamento Comercial para contactar a todos los clientes que, a esa fecha, habían adquirido el producto 18F-FDG, lote B11024187 desde la CCHEN.

Los y las clientes fueron informados previamente sobre el simulacro de retiro de mercado, y se les solicitó completar un formulario estándar (proporcionado por el ISP) con la información requerida acerca del producto.

La actividad involucró a los siguientes usuarios:

- Clínica Alemana.
- Hospital Militar
- Instituto Nacional del Cáncer (INCANCER)

El ejercicio obtuvo respuesta en las 48 horas establecidas, cumpliendo con la trazabilidad esperada por parte de dos de los tres usuarios involucrados. Se considera que el simulacro fue efectivo en su ejecución, logrando cumplir con las exigencias del Instituto de Salud Pública (ISP) en este ítem.

Hallazgos y desvíos

Se detectaron 18 hallazgos y desvíos, de los cuales 15 corresponden a desvíos internos y tres, a reclamo de usuario externo. Los hallazgos detectados son producto de funcionamiento sin la necesidad de realización de auditoría interna o externa. Estos se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 3: Resumen de hallazgos y desvíos año 2024.

Nº hallazgo	Área afectada	Producto afectado	Fecha del hallazgo	Hallazgo
012024	Reactor	I-131	24-01-2024	No cumple parámetro físico químico (pureza)
022024	Reactor	I-131	07-02-2024	No cumple parámetro físico químico (teluro)
032024	Reactor	Tc 99m	21-02-2024	Se envía menos actividad a la solicitada
042024	Reactor	I-131	26-03-2024	No cumple parámetro físico químico (pureza)
052024	Reactor	I-131 caps.	04-04-2024	Se envía menos actividad a la solicitada
062024	Ciclotrón	18F-FDG	08-04-2024	Falla del ciclotrón, se detiene producción
072024	Reactor	I-131 caps.	24-04-2020	Cápsula llega abierta dentro del vial a usuario
082024	Ciclotrón	18F-FDG	08-05-2024	Falla del ciclotrón, se detiene producción
092024	Reactor	I-131	09-08-2024	No cumple parámetro físico químico (pureza)
102024	Ciclotrón	18F-FDG	20-08-2024	Falla del ciclotrón, se detiene producción
112024	Reactor	I-131	23-09-2024	No cumple parámetro de rendimiento
122024	Reactor	I-131	30-09-2024	No cumple parámetro de rendimiento
132024	Reactor	I-131	19-10-2024	No cumple parámetro físico químico (teluro)
142024	Reactor	I-131	12-11-2024	No cumple parámetro físico químico (pureza)
152024	Reactor	I-131	13-11-2024	Liberación con leve baja de pureza por contingencia
162024	Reactor	Tc 99m	13-11-2024	No cumple parámetro físico químico (aluminio)
172024	Reactor	I-131	27-11-2024	No cumple parámetro físico químico (Teluro y pureza radioquímica)
182024	Ciclotrón	18F-FDG	11-12-2024	Falla del ciclotrón, se detiene producción

Autoinspecciones BPM

Con el objetivo de dar continuidad al Programa Anual de Auditorías e Inspecciones Internas CCHEN, se implementaron autoinspecciones de calidad, tomando como referencia puntos clave de la norma de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM). Estas autoinspecciones permitieron llevar a cabo revisiones periódicas en las áreas de trabajo, asegurando el cumplimiento de los estándares establecidos.

En total, se realizaron siete autoinspecciones, abarcando los siguientes dos puntos normativos:

- Materias primas y material de envase/empaque.
- Equipos e instrumentos.

En la Tabla 4 se observa el desglose de las autoinspecciones realizadas en 2024.

Tabla 4: Autoinspecciones BPM realizadas por Aseguramiento de calidad durante el año 2024.

Fecha	Ítem auditado	Área auditada
03-04-2024	Materias primas y material de envase empaque	Ciclotrón
10-04-2024	Materias primas y material de envase empaque	Liofilizados
29-04-2024	Materias primas y material de envase empaque	Reactor
08-05-2024	Materias primas y material de envase empaque	Control de Calidad
22-05-2024	Materias primas y material de envase empaque	Ciclotrón
22-08-2024	Equipos e instrumentos	Reactor
05-12-2024	Equipos e instrumentos	Ciclotrón

Además, el 23, 24 y 25 de octubre de 2024 se realizó una auditoría de Buenas Prácticas de Manufactura en todas las áreas del Departamento de Producción de Radiofármacos.

A continuación, se presenta un resumen de los hallazgos detectados durante la auditoría.

Tabla 5: Resumen de hallazgos detectados en auditoria GMP realizada por Cercal.

Área auditada	Tipo de hallazgo	Nº hallazgos detectados	Resumen hallazgos por área
DPR / Aseguramiento de Calidad	Crítico	5	19
	Mayor	12	
	Menor	1	
	Observación	1	
Producción / Ciclotrón	Crítico	2	4
	Mayor	2	
Producción / LRQLA	Crítico	2	4
	Mayor	2	
Producción / Liofilizados	Crítico	2	2
Control de Calidad	Crítico	2	2
Hallazgos totales		31	

Tanto con las autoinspecciones internas como con la auditoría BPM se constata cumplimiento al 100% del plan de auditorías del DPR durante el año 2024.

Revisión de Dossier para Liberaciones de Productos Manufacturados en CCHEN

Durante el año 2024, se realizó la revisión del 100% de los dossiers correspondientes a cada lote manufacturado en la CCHEN, como parte del proceso de liberación de productos para su venta al mercado. Estos dossiers incluyeron las planillas de fabricación de producción y sus correspondientes análisis de control de calidad, que abarcaron pruebas de esterilidad y monitoreos ambientales microbiológicos.

Tabla 6: Resumen de documentación liberada.

Producto	Línea productiva	Dossier revisados 2024	Productos liberados 2024	Productos rechazados 2024	% Cumplimiento
¹⁸ F-FDG	Ciclotrón	234	229	5	97,86%
Na ^{99m} TcO ₄	Reactor	65	64	1	98,46%
Na ¹³¹ I solución	Reactor	53	43	10	81,13%
Na ¹³¹ I cápsulas	Reactor	11	11	0	100%
Producción total CCHEN	DPR	363	347	16	95%

Con esta información, se observa que las producciones manufacturadas durante 2024 alcanzaron un 95% de cumplimiento respecto a la liberación de productos al mercado.

- El producto con mayor cumplimiento fue Na99mTcO4, con un 98,46% de éxito.
- Por otro lado, el producto con mayor porcentaje de rechazo fue Na131I solución, con un cumplimiento del 81,13%.

Validaciones y calificaciones

Durante el año 2024, y con el objetivo de cumplir con la normativa vigente y las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), se avanzó en la calificación de equipos críticos en las áreas de Ciclotrón y Liofilizados. Asimismo, se trabajó en la elaboración de protocolos de validación para procesos productivos, los cuales se proyecta implementar durante el año 2025.

A continuación, se detalla el desglose de las actividades realizadas.

Tabla 7: Calificaciones y validaciones efectuadas en el año 2024.

Área	Actividad	Código	Descripción
Ciclotrón	Calificación	DOC-CAL-061	Calificación IQ sistema N ₂
		DOC-CAL-062	Calificación OQ sistema N ₂
		DOC-CAL-063	Calificación PQ sistema N ₂
Liofilizados		DOC-CAL-064	Calificación IQ y OQ sistema agua Milli Q
Ciclotrón		DOC-VAL-025	Protocolo validación de procesos FDG

Reactor	Validación	DOC-VAL-029	Protocolo validación de procesos semi elaborado I-131
Liofilizados		DOC-VAL-030	Protocolo validación de procesos I-131
		DOC-VAL-036	Protocolo validación de procesos DMSA
		DOC-VAL-037	Protocolo validación de procesos ECD
		DOC-VAL-038	Protocolo validación de procesos MIBI
		DOC-VAL-039	Protocolo validación de procesos MDP

Con estas actividades, se fortalecieron las áreas de calificación de sistemas críticos y se avanzó en el desarrollo de los protocolos de validación, asegurando así una mejora continua en el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos.

Revisión Documental del DPR

En 2024 se ejecutó un plan de implementación y actualización de procedimientos, instructivos y formularios asociados en el Departamento de Producción de Radiofármacos (DPR).

Estas acciones tuvieron como objetivo garantizar la alineación con los requisitos normativos y operativos. A continuación, se detalla el desglose de los documentos creados y/o actualizados:

Tabla 8: Documentación actualizada y nueva implementada durante el año 2024.

Creación / Actualización de documentos DPR			
Código	Tipo	Nombre documento creado	Actividad
DOCINT-DPR-003	Doc. interno	Archivo Maestro de Sitio.	Actualización
DOCINT-DPR-004	Doc. Interno	Plan maestro de validación	Actualización
PRT-DPR-021	Procedimiento	Buenas prácticas documentales	Nuevo
PRT-DPR-022	Procedimiento	Control de cambios.	Nuevo
PRT-DPR-014	Procedimiento	Retiro de productos del mercado.	Actualización
INT-DPR-009	Instructivo	Pruebas de verificación para calibradores de dosis de radionúclidos	Actualización
INT-DPR-010	Instructivo	Limpieza de blindajes ciclotrón y reactor	Nuevo
FOT-DPR-114	Formulario	Formulario Control de Cambios	Nuevo

Estas actualizaciones y nuevas implementaciones refuerzan el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura y mejoran los controles internos, asegurando así la calidad en los procesos productivos.

Capacitaciones gestionadas a través del área 2024

En el marco del Plan de Capacitación Continua del DPR y en cumplimiento con los requisitos de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), en 2024 se llevaron a cabo un total de 18 capacitaciones, distribuidas de la siguiente manera:

- 8 capacitaciones internas, enfocadas en reforzar procedimientos operativos, normativas y buenas prácticas dentro del DPR.

- 10 capacitaciones externas, realizadas con entidades especializadas para fortalecer conocimientos técnicos y regulatorios del personal.

Las capacitaciones realizadas se detallan de la siguiente manera:

Tabla 9: Capacitaciones 2024.

Tipo	Capacitación	Entidad
Interna	Limpieza de blindajes área Ciclotrón	DPR
Interna	Elaboración de informes de investigación por rechazos	DPR
Interna	Empaque de EPP para esterilización por irradiación gamma	DPR
Interna	Revisión PRT-AR-002 “Proceso de Na131I” y formularios de fraccionamiento FOT-AR-047 y FOT-AR-048	DPR
Interna	Conceptos básicos de protección radiológica	DPR
Interna	Documentación interna del DPR	DPR
Interna	Norma técnica 147 Buenas prácticas de abastecimiento y distribución, y transporte seguro de material radiactivo	DPR
Interna	Buenas Prácticas Documentales	DPR
Externa	Buenas prácticas de documentación e integridad de datos ALCOA+	Wackerling
Externa	Buenas prácticas de manufactura	Wackerling
Externa	Norma 147 Buenas prácticas en almacenamiento y distribución	Wackerling
Externa	Ánalysis de riesgo, sistema CAPA y gestión de cambio	Wackerling
Externa	Comportamiento de áreas clasificadas	Wackerling
Externa	Formador de auditores GMP	Wackerling
Externa	Estudios de Estabilidad	Wackerling
Externa	Uso de la norma GMP en limpieza y desinfección.	Wackerling
Externa	Validación de metodologías analíticas.	Wackerling
Externa	Curso de cromatografía de gases.	Wackerling

Con estas capacitaciones, tanto internas como externas, se fortalecieron las competencias del personal del DPR, asegurando el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura y fomentando una mejora continua en los procesos. Esto permite garantizar la calidad y seguridad de los productos fabricados, así como la actualización del equipo en normativas y procedimientos clave para la operación.

Dirección Técnica

Fiscalizaciones realizadas por el ISP y levantamiento de hallazgos detectados

Entre el 25 y 27 de noviembre del 2024 se realizó inspección bajo el concepto de visita de orden general por parte del Instituto de Salud Pública (ISP), que arrojó 62 hallazgos que fueron desglosados en el plan de acción entregado al ente regulador.

De los 62 hallazgos indicados por el ISP, dos de ellos caen en la categoría de “No aplica”, por lo que se oficializaron finalmente 60 hallazgos.

Al término del año 2024, hubo 11 hallazgos que ya se encuentran implementados que equivalen al

18,3% de los hallazgos totales, quedando pendiente por resolver 49 hallazgos desde el año 2025 en adelante, que equivale a un 81,7%. En la Tabla 10 se observan todos los puntos que fueron fiscalizados, en los que se detalla la cantidad de hallazgos por ítem y los hallazgos resueltos durante el año 2024.

Tabla 10: Puntos normativos inspeccionados durante VOG 2024, con puntos implementados hasta año 2024.

		Hallazgos detectados	Implementados 2024
1	Generalidades	2	0
2	Aseguramiento de calidad	2	0
3	Higiene y sanitización	9	2
4	Quejas	1	1
5	Actividades por contrato	0	0
6	Autoinspecciones y auditorías de calidad	3	0
7	Personal	3	2
8	Capacitación	0	0
9	Instalaciones – Condiciones generales	2	0
1	Instalaciones – Áreas accesorias	1	0
0			
1	Instalaciones – Áreas pesaje y fraccionamiento	0	0
1			
1	Instalaciones – Áreas de muestreo	0	0
2			
1	Instalaciones – Áreas de producción y envase primario	5	0
3			
1	Instalaciones – Control de calidad físico químico	1	1
4			
1	Instalaciones – Control de calidad microbiológico	8	0
5			
1	Equipos e instrumentos	2	0
6			
1	Materiales – Materias primas	0	0
7			
1	Materiales – Material envase y empaque	2	0
8			
1	Materiales – Producto terminado	0	0
9			
2	Materiales – Medios de cultivo	2	2
0			
2	Materiales – Sustancias y materiales de referencia	1	1
1			
2	Documentación – Registro general de producción	1	0
2			
2	Documentación – Fórmula maestra	1	0
3			
2	Documentación – Planilla fabricación y envase	1	0
4			
2	Documentación – Certificado de análisis	1	0
5			
2	Buenas prácticas de producción	2	0

6			
2	BPL – Ingreso de muestras	1	0
7			
2	BPL – Hoja de trabajo analítica	2	0
8			
2	BPL - Ensayos	4	3
9			
3	BPL – Evaluación resultados de análisis	1	0
0			
3	BPL Microbiología	1	0
1			
3	Calificación y validación	3	0
2			

Actualización levantamiento de hallazgos Plan de trabajo de cumplimiento sanitario

Siguiendo con los compromisos adquiridos ante el regulador sanitario, en la visita de orden general realizada en el año 2022, la CCHEN comprometió una serie de mejoras a implementar con la finalidad de contar con buenas prácticas de manufactura que permitan entregar radioisótopos, radiofármacos y kits fríos con los estándares requeridos.

Para ello, la CCHEN trabajó en un plan de al menos 3 años, conocido como “Plan de trabajo para cumplimiento sanitario”, el cual cuenta en total con 297 hallazgos y compromisos adquiridos hacia el regulador y se viene trabajando desde el año 2023.

Para el año 2024 estaba comprometido el levantamiento de 81 hallazgos, lo que tuvo un cumplimiento de un 95,06%.

Tabla 11: Desglose de requerimientos por área/proceso, Plan Sanitario año 2024.

Área o proceso involucrado	Requerimientos 2024
Laboratorio Ciclotrón	17
Producto: ¹⁸ F-FDG	
Laboratorio Radioquímico	25
Productos: Na ¹³¹ I, Na ^{99m} TcO ₄	
Laboratorio Liofilizados	24
Productos: MIBI, MDP, DMSA, ECD.	
Laboratorio Control de Calidad	
Proceso: Análisis físico químico, análisis microbiológico.	15
Total requerimientos – Año 2024	81

Tabla 12: Desglose por consolidación de hallazgos, Plan Sanitario 2024.

Consolidado hallazgos 2024	Estatus año 2024
Nº hallazgos cumplidos	77
Nº hallazgos no resueltos, pendientes	4
Total hallazgos 2024	81
% cumplimiento	95,06

Actualización archivo maestro de sitio (AMS)

Se realiza actualización del Archivo Maestro de Sitio, la cual debe entregarse con frecuencia anual al Instituto de Salud Pública con todas las actualizaciones ejecutadas en relación al laboratorio de producción de radiofármacos que fueron realizadas durante el año, siendo esta información respaldada con toda la documentación que corresponda. Durante el año 2024 el formato entregado por el ISP como guía para emitir este documento fue actualizado por lo que se debió realizar cambios mayores al formato de entrega requerida, incluyendo la información faltante que estaba siendo requerida.

La última versión actualizada corresponde a la versión 02, y contiene la siguiente información:

- Información general de CCHEN con enfoque al Departamento de Producción de Radiofármacos (DPR).
- Sistema de gestión de calidad del DPR.
- Instalaciones y equipos del laboratorio.
- Todo lo relacionado a Producción de radioisótopos y radiofármacos.
- Todo lo relacionado al control de calidad de radioisótopos y radiofármacos.
- Distribución de productos.
- Entre otros.

Gestión de notificaciones y solicitudes al Instituto de Salud Pública (ISP)

Se enviaron 11 formularios al ISP durante el año 2024, notificando los cambios generados durante el año relacionados a los responsables sanitarios del Laboratorio de Producción de Radiofármacos. En la Tabla 13, se detalla el periodo en el que estas notificaciones fueron enviadas y los motivos que llevaron a las mismas:

Tabla 13: Notificaciones por responsables sanitarios realizadas al ISP durante el año 2024.

Mes	Motivo notificación	Observación
Abril	Asume subrogancia jefatura Aseguramiento de Calidad	Feriado legal Jefe Aseguramiento de Calidad
Abril	Asume subrogancia jefatura Control de Calidad.	Feriado legal Jefe Control de Calidad
Mayo	Deja cargo sanitario Director técnico y Jefe de Producción	Renuncia responsable sanitario
Mayo	Asume cargo sanitario Director técnico y Jefe de Producción	Redistribución de funciones por renuncia de responsable sanitario
Mayo	Asume subrogancia jefatura Aseguramiento de Calidad	Redistribución de funciones por renuncia de responsable sanitario.
Junio	Asume subrogancia jefatura Aseguramiento de Calidad y Control de Calidad	Licencia médica de responsable sanitario
Julio	Asume cargo sanitario Jefe Aseguramiento de Calidad	Contratación de responsable sanitario
Agosto	Asume subrogancia jefatura Control de Calidad	Licencia médica de responsable sanitario

Septiembre	Asume subrogancia jefatura Control de Calidad	Licencia médica de responsable sanitario
Octubre	Asume subrogancia jefatura de Producción	Ausencia responsable sanitario por cometido de servicio
Octubre	Asume subrogancia Director técnico	Ausencia responsable sanitario por cometido de servicio

Además, se emitieron 11 memorandos desde Dirección Técnica en 2024, relacionados a la notificación de información técnico-sanitaria, enviados al Instituto de Salud Pública.

Tabla 14: Memorándum emitidos desde Dirección técnica al ISP durante el año 2024.

Mes	Nº	Contenido
Enero	Memo DPR 001/2024	Informa 3 ^a entrega cuatrimestral Plan Sanitario en respuesta a Acta inspectiva N° 6/23.
Mayo	Memo DPR 003/2024	Remite Archivo Maestro de Sitio
Junio	Memo DPR 004/2024	Informa 4 ^a entrega cuatrimestral Plan Sanitario en respuesta a Acta inspectiva N° 6/23.
Agosto	Memo DPR 005/2024	Informa plan acción y mitigación por baja dotación responsables sanitarios.
Septiembre	Memo DPR 006/2024	Entrega informe solicitado por acta inspectiva 662/24, relacionado a baja dotación de responsables sanitarios.
Octubre	Memo DPR 007/2024	Informa detención programada de líneas productivas por mantenimiento.
Noviembre	Memo DPR 014/2024	Informa detención por modificación línea productiva liofilizados
Noviembre	Memo DPR 015/2024	Informa detención de procesos productivos
Noviembre	Memo DPR 016/2024	Solicita reprogramación de visita de orden general.
Noviembre	Memo DPR 017/2024	Informa reactivación de procesos productivos.
Diciembre	Memo DPR 018/2024	Solicita exención pago arancel que considera prestación para fabricación según art. 99 del Código Sanitario.

Implementación de notificación mensual reclamos de calidad al ISP

En 2024 se implementó la notificación mensual de reclamos de calidad que se han presentado en CCHEN, que deben notificarse todos los meses al ISP, donde además se debe informar si el mes notificado no tiene reclamos de calidad en el mes en curso.

Como marcha blanca se definió informar la totalidad de los reclamos de calidad obtenidos en la CCHEN, ya sean internos o externos. En los meses de junio, julio, noviembre y diciembre CCHEN no tuvo reclamos de calidad, para notificar, pero de igual manera esta información se indica en el formulario.

A modo de resumen, en 2024 se informaron 13 hallazgos de calidad, de los cuales 10 correspondían a reclamos de cliente interno (CCHEN) y 3 a reclamos de cliente externo.

Tabla 15: Resumen de reclamos de calidad informados al ISP durante el año 2024.

Mes	Código del reclamo	Tipo de reclamo	Producto afectado	Motivo
Enero	012024	Interno	I-131	No cumple parámetro físico químico (pureza).
Febrero	022024	Interno	I-131	No cumple parámetro físico químico (teluro).
	032024	Externo	Tc 99m	Se envía menos actividad a la solicitada.
Marzo	042024	Interno	I-131	No cumple parámetro físico químico (pureza).
Abril	052024	Externo	I-131 caps.	Se envía menos actividad a la solicitada.
	062024	Interno	18F-FDG	Falla del ciclotrón, se detiene producción.
	072024	Externo	I-131 caps.	Cápsula llega abierta dentro del vial a usuario.
Mayo	082024	Interno	18F-FDG	Falla del ciclotrón, se detiene producción.
Junio	Sin reclamos de calidad durante junio 2024			
Julio	Sin reclamos de calidad durante julio 2024			
Agosto	092024	Interno	I-131	No cumple parámetro físico químico (pureza).
	102024	Interno	18F-FDG	Falla del ciclotrón, se detiene producción.
Septiembre	112024	Interno	I-131	No cumple parámetro de rendimiento.
	122024	Interno	I-131	No cumple parámetro de rendimiento.
Octubre	132024	Interno	I-131	No cumple parámetro físico químico (teluro).
Noviembre	Sin reclamos de calidad durante Noviembre 2024			
Diciembre	Sin reclamos de calidad durante Diciembre 2024			

Reuniones con instituciones públicas

En 2024 hubo acercamiento con instituciones públicas ya sea por temas regulatorios (ISP) así como nuevos socios estratégicos por contingencia de radiofármacos (CENABAST). Estas reuniones son referentes de mejora en temas como cumplimiento de requisitos de buenas prácticas de manufactura y nuevas estrategias de distribución de I-131.

Tabla 16: Reuniones sostenidas entre Dirección Técnica e Instituciones Públicas durante el 2024.

Mes	Participantes	Motivo
Junio	CCHEN / ISP	Presentación restructuración de funciones y baja dotación de responsables sanitarios.
Julio	CCHEN / CENABAST	Presentación staff CENABAST / CCHEN relacionado a producción y distribución I-131.

Agosto	CCHEN / ISP	Citación a responsables sanitarios para entrega de Acta inspectiva N°662/24, relacionado a baja dotación de responsables sanitarios.
Diciembre	CCHEN / CENABAST	Coordinación de trabajo integrado para distribuir a regiones I-131 manufacturado en CCHEN y procedente desde Argentina (Tecnuclear).
Diciembre	CCHEN / ISP	Lobby ISP con equipo CCHEN / INVAP para presentar proyecto relacionado a nueva planta PPRI.

Plan de capacitación continua en asuntos regulatorios

En el transcurso del año 2024 no solo se potenciaron las capacitaciones relacionadas a las Buenas Prácticas de Manufactura, sino que también se pudo adentrar en las necesidades de CCHEN de contar con las herramientas necesarias para poder realizar el registro de los productos manufacturados en nuestro laboratorio de producción de radiofármacos. Para esto, se realizaron las siguientes actividades:

- **Curso “Herramientas técnicas para la ejecución de un procedimiento ordinario de registro de producto farmacéutico en Chile”, Instituto de Salud Pública de Chile, septiembre 2024.**

Este curso permitió interiorizar a los profesionales de la salud participantes que se desempeñan en la industria farmacéutica en general, en organizaciones de salud pública, así como también a aquellos profesionales que deseen capacitarse en esta materia, en el procedimiento ordinario de registro sanitario de productos farmacéuticos, teniendo como objetivo la entrega de herramientas generales para gestionar el procedimiento ordinario de registro de productos farmacéuticos y la aplicación de la normativa sanitaria vigente que regula a la industria farmacéutica en el ámbito de los registros por procedimiento ordinario de productos farmacéuticos, dando a conocer entre otros:

- Las herramientas y requerimientos básicos para la obtención de un registro sanitario por procedimiento ordinario de producto farmacéutico.
- Los instructivos y formularios que se requieren para realizar esta actividad.
- La reglamentación sanitaria vigente que le compete:
 - Código Sanitario y sus modificaciones; Ley 20.724 que modifica el Código Sanitario.
 - Decreto Supremo N°3 /2010, que aprueba Reglamento del Sistema Nacional de Control de los productos farmacéuticos de uso humano.

- **Taller regional “Requisitos regulatorios sanitarios para radiofármacos”, enmarcado en el proyecto de fortalecimiento de las capacidades de los centros de tomografía por emisión de ciclotrones de la región (ARCAL), La Habana, Cuba, noviembre 2024.**

Esta actividad reunió a participantes de 13 países de la región tanto del ámbito de producción radiofarmacéutica como reguladores sanitarios, en la que se permitió compartir experiencias de cada país referente a la regulación sanitaria actual de radiofármacos, con una presentación inicial del marco regulatorio por países y una mesa de discusión sobre puntos críticos regulatorios y desafíos de armonización, abordando temas tales como:

- Marco regulatorio relacionado con radiofármacos en los países de América Latina.
- Desafíos identificados por la comunidad radiofarmacéutica para cumplir con los requisitos de la normativa sanitaria.
- Comprender los requisitos para realizar ensayos clínicos relacionados con el uso de nuevos radiofármacos, tanto para diagnóstico como para tratamiento.
- Incrementar el conocimiento sobre los procesos de registro sanitario en la región aplicados a radiofármacos.
- Casos de éxito y desafíos en el proceso de registro sanitario de radiofármacos.

CCHEN SALUD

Investigación y Desarrollo en Salud y Biomedicina

Reconociendo la relevancia de la contribución que las aplicaciones de las radiaciones ionizantes y tecnologías nucleares tienen a la salud y bienestar de las personas, la CCHEN creó el Centro de Investigaciones Nucleares para Aplicaciones en Salud y Biomedicina (CINASB).

El centro CINASB tiene dos ejes de trabajo fundamentales que se complementan y sustentan en las ciencias químicas y biológicas:

- El estudio del efecto de las radiaciones ionizantes sobre sistemas biológicos
- El desarrollo de radiomoléculas de interés diagnóstico y terapéuticos

Proyecto "Fortalecimiento de capacidades nacionales para la generación y uso de tejidos radioesterilizados de calidad clínica para el tratamiento de patologías de alto impacto en la salud y calidad de vida"

Investigadora: Ethel Velásquez

El proyecto CHI1020 corresponde a un proyecto nacional del Programa de Cooperación Técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica para el ciclo 2024/2025. El objetivo general del proyecto es fortalecer capacidades nacionales para la generación y uso de tejidos radioesterilizados en la red salud chilena, como una alternativa costo-efectiva para el tratamiento de patologías con alto impacto en la salud y la calidad de vida de la población chilena. El proyecto contribuirá a la construcción de capacidades en BP y estándares de calidad para la generación de tejidos de uso clínico, la creación e implementación progresiva de estrategias para incrementar las capacidades de irradiación, el mejoramiento continuo, desarrollo tecnológico y progreso hacia la aplicación de terapias de vanguardia tales como la medicina regenerativa y reconstructiva. Al mismo tiempo, contribuirá a la promoción y difusión de los beneficios de la tecnología de irradiación en la esterilización de tejidos. Esta iniciativa está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (ODS 3 Salud y Bienestar), la Agenda de Salud Sustentable para las Américas 2018-2030 OPS/OMS, el Marco de Acción Global para el acceso equitativo a tejidos y células al 2030 de la OMS y la Estrategia Nacional de Salud Objetivos al 2030 – Ministerio de Salud, Chile.

Según el plan de trabajo propuesto en la fase de diseño, durante el primer año del proyecto las actividades a realizar incluían 3 visitas científicas (SV), 3 pasantías (FE), 1 misión de experto (EM) y 2 compras (PRC). Un resumen de las actividades de recursos humanos se presenta en la siguiente tabla:

Planificación de actividades de formación de recursos humanos para 2024 (Plan original)

Componente	Descripción de la Actividad	Participantes

SV-1	Visita Científica (SV) a Bancos de Tejidos o Centro Regional (LATAM o UE) para obtener una visión general de los estándares actuales para la operación de bancos de tejidos, requisitos de instalaciones y personal, marco regulatorio y evaluación de aseguramiento de la calidad.	2
SV-2	Visita Científica a Bancos de Tejidos o Centro Regional (LATAM o UE) para aprender sobre la implementación de buenas prácticas y sistemas de gestión de calidad en bancos de tejidos.	1
SV-3	Visita Científica a Bancos de Tejidos o Centro Regional (LATAM o UE) para aprender sobre la implementación de una instalación de sala limpia, capacitación de personal y planes de aseguramiento de la calidad y monitoreo para la operación de bancos de tejidos.	1
FE-1	Pasantía (FE) para capacitación en prácticas microbiológicas para la implementación del CoP y evaluación de calidad de monitoreo de sala limpia.	2
FE-2	Pasantía para capacitación en procesamiento de tejidos en un ambiente de sala limpia.	2
FE-3	Pasantía para aprender sobre andamios basados en tejidos o biomateriales radioesterilizados y evaluación preclínica.	1
EM-1	Misión de Experto (EM) para revisar capacidades y plan de trabajo, asesorar sobre Buenas Prácticas y Estándares para Bancos de Tejidos.	1

Ajuste en planificación de actividades durante el 2024

El plan de actividades de recursos humanos fue revisado y modificado tras una visita de experto realizada en abril de 2024, quedando resumido de la siguiente manera:

Componente	Descripción de la Actividad	Participantes

SV-1	Visita Científica (SV) a Bancos de Tejidos o Centro Regional (LATAM o UE) para obtener una visión general de los estándares actuales para la operación de bancos de tejidos, requisitos de instalaciones y personal, y marco regulatorio y evaluación de aseguramiento de la calidad.	2
SV-2	Visita Científica a Bancos de Tejidos o Centro Regional (LATAM o UE) para aprender sobre la implementación de buenas prácticas y sistemas de gestión de calidad en bancos de tejidos, gestión de instalaciones de sala limpia, capacitación de personal y planes de aseguramiento de la calidad y monitoreo para la operación de bancos de tejidos.	2
FE-1	Pasantía (FE) para capacitación en prácticas microbiológicas para la implementación del CoP y evaluación de calidad de monitoreo de sala limpia.	2
FE-2	Pasantía para capacitación en procesamiento de tejidos en un ambiente de sala limpia.	2
FE-3	Pasantía para aprender sobre andamios basados en tejidos o biomateriales radioesterilizados y evaluación preclínica.	1

Actividades de difusión del proyecto

Seminario híbrido “Intercambio de Experiencias y Aprendizajes en la preparación y uso de Tejidos Humanos en Chile”. Del 10 al 11 de Abril de 2024, el Auditorio Hospital de Urgencia Asistencia Pública. Contó con la participación de 8 expositoras y 5 expositores, siendo 12 invitados nacionales y 1 invitada internacional.

Jornada de Enfermería, Sociedad Chilena de Trasplante – Departamento de Enfermería. 26 de Julio de 2024, Auditorio Sociedad Médica de Santiago. Dirigido a personal de enfermería y coordinadores de procuramiento y trasplante

Curso “Procuramiento de Membrana amniótica en el HGGB” - Hospital Guillermo Grant Benavente. Del 26 al 31 de Julio de 2024, Hospital Guillermo Grant Benavente. Dirigido a personal de enfermería de la unidad de procuramiento y equipo de gineco obstétrico.

Curso “Avanzando hacia una comunidad hospitalaria líder en Donación y Trasplante” - Hospital Guillermo Grant Benavente. Del 17 al 18 de Octubre de 2024, Hospital Guillermo Grant Benavente. Dirigido a profesionales de salud de la Unidad Urgencia y Unidades de Paciente Crítico Adulta/Pediátrica.

Presentación de resúmenes en reuniones científicas

Durante el 2024, se enviaron para evaluación de comité científico la presentación de 3 resúmenes para conferencias internacionales:

- Conferencia ICARST 2025 (Third International Conference on Applications of Radiation Science and Technology), a realizarse en Viena – Austria, del 7 al 11 de Abril 2025. Se presentaron 2 resúmenes, confirmación de aceptación recibida el 07 de Noviembre de 2024.
- IX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Bancos de Tejidos (ALABAT), que se realizó en Bogotá - Colombia, del 6 al 8 de noviembre del 2024.
- En relación a los resúmenes enviados para reunión ICARST 2025, la confirmación de aceptación por parte del comité científico fue recibida el 07 de Noviembre de 2024. Se realizaron las gestiones y ya se cuenta con la aprobación de la PMO para financiar a través del proyecto la participación de un expositor. En relación a la reunión de ALABAT, no se logró financiar la participación de ningún integrante del proyecto.

Actividades de divulgación

Visita inaugural Laboratorio de Tejidos y Células CCHEN-BNT

El día 17 de Abril se realizó la inauguración del Laboratorio de Tejidos y Células CCHEN, que será de uso compartido con el Banco Nacional de Tejidos. En la actividad estuvieron invitados funcionarios del Servicio de Salud Metropolitano – MINSAL, funcionarios CCHEN, equipo Banco Nacional de Tejidos y autoridades institucionales.

Visita del Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica

El día 30 de Abril, el Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica, Sr. Mariano Grossi, realizó una visita al CEN La Reina. En esta ocasión, el DG del OIEA visitó el reactor RECH-1 y el Laboratorio de Tejidos y Células. En la actividad estuvieron invitados funcionarios del Ministerio de Salud, Ministerio de Energía, Ministerio de Relaciones Exteriores – MINSAL, contrapartes de proyectos OIEA y autoridades institucionales.

Día Nacional del Donante de Órganos y Tejidos

El día 27 de Septiembre, se conmemora el Día Nacional del Donante de Órganos y Tejidos. Se preparó un stand en el frontis de Capredena, centro en el que se encuentran las instalaciones transitorias del Banco Nacional de Tejidos. El objetivo de este stand fue entregar información a los transeúntes y habitantes del sector, para visibilizar la actividad de tejidos como herramienta fundamental en el tratamiento de diversas patologías.

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiomoléculas (LIDERA)

Durante 2024, el CINASB continuó fortaleciendo el LIDERA, avanzando en la instalación de equipamiento clave para el estudio y desarrollo de nuevas radiomoléculas.

Proyecto Estudio de la radiomarcación de $[99m\text{Tc}]$ PSMA utilizando $99m\text{Tc}$ obtenido a partir de generador $99\text{M}\text{O}/99m\text{Tc}$ y obtenido mediante activación neutrónica en el RECH-1

Investigador: Roberto Mercado

En Chile, el cáncer de próstata es la segunda causa de muerte por cáncer en varones del país, solo superado por el cáncer de estómago y en países desarrollados ya ha pasado al primer lugar. Debido a esto, durante los últimos 5 años se han publicado numerosos estudios acerca del desarrollo de radiofármacos específicos para cáncer de próstata, su estrategia de radiomarcación, su comportamiento in vitro, así como pruebas en humanos. Sin duda se trata de un interesante campo de acción que responde a una clara necesidad de la salud de la población. Dentro de los radiofármacos desarrollados, destacan aquellos que basan su mecanismo de acción interactuando

con el Antígeno Específico de Membrana Prostática (PSMA). Dicho antígeno es una proteína transmembrana presente en todos los tejidos prostáticos y se ha demostrado que la expresión de PSMA está incrementada en pacientes con tumores desdiferenciados, metastásicos u hormono refractarios. Más aún, el nivel de expresión del PSMA tiene un valor pronóstico para la evolución de la enfermedad, por lo tanto, contar con un radiofármaco que interactúe específicamente con el PSMA, permitirá localizar y caracterizar un tumor prostático, entregando más y mejor información al equipo médico tratante. En dicho contexto la CCHEN se encuentra desarrollando el [18F]PSMA-1007, un ligando específico para la proteína que utiliza la tomografía por emisión de positrones (PET) para obtener una medida de su distribución tridimensional obteniendo imágenes semi cuantitativas que permiten valorar de forma no invasiva la expresión de PSMA. Sin embargo, en nuestro país el acceso a la tecnología PET aún es limitado y por ello requiere complementar con otras técnicas de adquisición de imágenes moleculares que cuenten con más presencia en el sistema público de salud como la Tomografía Computarizada de Fotón Único (SPECT), mejorando el acceso de la población a técnicas de diagnóstico de alta tecnología.

Este proyecto plantea desarrollar la radiomarcación de [99mTc]PSMA, que amalgama las bondades descritas del [18F]PSMA con las virtudes del 99mTc utilizados como radiotrazador SPECT. Este proyecto propone realizar dicha radiomarcación con tecnecio obtenido a partir de la elución de un generador de 99Mo/99mTc, agregando conocimiento a la institución en la radiomarcación de proteínas con este isótopo.

Otras actividades del CINASB

En capital humano, gracias al proyecto “Creación de capacidades en materia de aplicaciones de ciencia y tecnología nucleares”, financiado por el OIEA, se otorgaron becas orientadas a fortalecer las capacidades de I+D en técnicas de marcación con nuevas moléculas y para la participación en congresos internacionales.

Presentación de trabajos en Simposios Nacionales

Título	Congreso	Fecha
Impresión 3D de andamios multifuncionales de policaprolactona recubiertos de polipirrol para aplicaciones en ingeniería de tejidos	XVIII Simposio Latinoamericano de Polímeros, XV Congreso Iberoamericano de Polímeros y XI Coloquio de Macromoléculas, Puerto Varas, Chile	02-06/12/2024

Presentación de trabajos en Congresos y Simposios Internacionales

Título	Congreso	Fecha
Impresión 3D de biomateriales poliméricos para aplicaciones en ingeniería de tejidos	XI Encuentro Internacional de Innovación Tecnológica, Ocaña, Colombia	11-18/09/2024
Study of the effect of formulation variations on the radiolabeling of the SPECT radiopharmaceutical [^{99m} Tc] EDDA/HYNIC-iPSMA with ^{99m} Tc obtained by n-gamma activation in a nuclear research reactor	VII Theragnostics World Congress. Santiago, Chile	22-24/03/2024
Key aspects in the development of analytical methodologies for radiopharmaceuticals in liquid chromatography	11 th DAE-BRNS Biennial Symposium on Emerging Trends in Separation Science and Technologies. (SESTEC 2024)	10-13/07/2024

Formación de Estudiantes

Nombre estudiante	Programa/Universidad	Actividad	Tutor/a CCHEN
Fátima Castañeda	Maestría en Ciencias Nucleares, Universidad Autónoma de Zacatecas, México "Estudio in vitro del efecto de radiaciones pulsadas de un dispositivo plasma focus"	Tesis de Magister	Ethel Velásquez
Jorge Romero	Magister en Química, Universidad de Chile Producción de radiotrazador clave para el cáncer de próstata: [^{99m} Tc]EDDA/HYNIC-Ipsma	Tesis de magister	Roberto Mercado

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

La dosimetría personal permite medir, evaluar y registrar las dosis recibidas por las personas expuestas a radiaciones ionizantes en función de su trabajo, contribuyendo por lo tanto a proteger su salud en relación con los posibles efectos biológicos. Su finalidad es garantizar que las trabajadoras y los trabajadores, de forma individual, cumplan con la normativa y sean monitoreados durante un periodo y que de este modo minimicen la exposición de manera significativa.

Con la información y mediante una adecuada vigilancia radiológica, los grupos de trabajo, Personas Ocupacionalmente Expuestas (POE), encargados(as) de protección radiológica, supervisores(as) jefes(as) y gerentes(as), logran realizar evaluaciones para proteger la salud de las usuarias y los usuarios, minimizar los riesgos a la exposición a las radiaciones ionizantes, gestionar protocolos de trabajo que reduzcan la exposición a las radiaciones ionizante tanto como sea posible alcanzar, aplicando el criterio ALARA (As Low As Reasonably Achievable, por sus siglas en inglés). Este proceso es conocido como la optimización de la práctica.

Importante recordar que el Decreto Supremo N°3, que corresponde al Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas, en su artículo 4°, indica que “Toda persona ocupacionalmente expuesta (POE) deberá portar durante su jornada de trabajo, un dosímetro personal destinado a detectar las radiaciones ionizantes que pudiere recibir, el que le será proporcionado por su empleador cada vez que sea necesario”.

Los grupos de trabajo que utilizan nuestra dosimetría personal incluyen las áreas médicas, industrial e investigación.

- Médicas: Radioterapia, intervencionismo, medicina nuclear, dental, entre otras.
- Industrial: Gammagrafía Industrial, medidores de humedad, medidores de espesor, control de procesos mineros e industriales.
- Investigación: Universidades e instituciones de investigación.
- Fuerzas Armadas y de seguridad: Scanners de control.

Los equipos que actualmente utiliza el SDOPE, corresponden a:

Tabla 17: Equipos utilizados en el Laboratorio de Dosimetría Personal Externa.

Equipo	Marca	Modelo	Nº Serie
	Harshaw	5500 TLD	0505299
	Harshaw	5500 QS	961114
	Harshaw	6600 Lite	1202362

Lectores de cristales y tarjetas termo luminiscentes	RadPro	RE 2000 A	360018
Fuentes emisoras de radiación ionizante	HP (Rayos X) JL Shepherd (Gamma; Cs-137)	43804N MARK IV Model TLD	1714A00177 568
Detectores de contaminación radiactiva	Eberline Sonda externa Ludlum Sonda externa	RM-14 HP 360 177-61 44-9	2646 01771 185026 PR193834
Hornos de recocido para cristales termo luminiscentes	PTW RadPro	PTW-TLDO TLD Heat	1321-1252 A2184/18-3



Foto 4-5: Equipo Harshaw 5500.

El SDOPE tiene los siguientes servicios de dosimetría personal disponibles:

- PD3 (gamma Hp (10))
- PD8 (Rayos gamma y rayos X) Hp (10)
- Anillo (Gamma) Hp (10)
- Cristalino (Gamma) Hp (0.07)

Estos dispositivos permiten estimar la dosis de radiación que se recibe en todo el organismo durante un cierto intervalo de tiempo. Para ello, usa detectores pasivos con tecnología de cristales termoluminiscentes en base a fluoruro de litio, que se ubican en su interior. Estos cristales tienen una muy buena respuesta para detectar y almacenar la interacción con la radiación ionizante, además, el cristal al tener volumen puede considerarse como tejido equivalente.

La evaluación de dosis se basa en la comparación de la señal con una curva de calibración construida para cada equipo, junto con el software que asigna la dosis por cada dosímetro personal. La curva se construye analizando las señales de cristales irradiados con dosis conocida, proporcionada por el Laboratorio de Metrología de las Radiaciones Ionizantes de la CCHEN.

Se debe recordar que, durante el año 2023 y debido a la falta de personal en el área, sumado a las

restrictiones presupuestarias, se inició el cierre de servicio de dosimetría para varios clientes. Un año después, esta disminución en la cantidad de clientes atendidos se ve reflejado en la cantidad de dosímetros enviados el año 2024, cuyo porcentaje de disminución respecto a 2023 fue de un 64%.

Tabla 18: Comparativa de solicitudes de envío de dosímetros y nuevas solicitudes de servicio de dosimetría personal desde el 2022 al 2024.

Año	Dosímetros enviados servicio regular	Dosímetros enviados por Solicitudes	Dosis Informadas
2022	21800	489	27009
2023	27179	304	22085
2024	9427	508	6752

Tabla 19: dosímetros enviados en el 2024.

Servicio CCHEN			Servicio externo		
	# Asignaciones	# Dosis		# Asignaciones	# Dosis
Anillo	825	645	Anillo	277	216
Cristalino	180	143	Cristalino	0	0
PD3	67	48	PD3	6858	4379
PD5	1278	1001	PD5	0	0
PD8	5	5	PD8	2800	2157
Total	2355	1842	Total	9935	6755

En lo referente al control dosimétrico del personal de la CCHEN, en 2024 se asignaron 2355 dosímetros. Las dosis gestionadas corresponden a un 78% de las asignaciones año 2024, el 22% restante, a dosímetros en uso para el 2025. Para el caso de las dosis del servicio externo, se gestionaron 68% de las asignaciones en 2024, correspondiendo a dosímetros que aún están en uso.

Eficiencia Operación

El laboratorio, como parte de su programa de aseguramiento de la calidad de los datos reportados, ha asumido el compromiso de mantener un tiempo de tramitación de informes de dosis inferior a los tres días, desde la recepción de los dosímetros en el servicio hasta el envío de los informes correspondientes. Sin embargo, este compromiso se ha visto afectado por licencias médicas que han impactado en la disponibilidad del personal encargado. A pesar de las limitaciones mencionadas, hemos logrado mantener un servicio eficiente de dosimetría personal, asegurando la entrega oportuna de los informes de dosis en la mayoría de las recepciones de dosímetros.

Conscientes de la importancia de cumplir con los tiempos comprometidos, se logró implementar medidas para mitigar los impactos de la falta de personal, por jubilación y licencias médicas. Se gestionó el apoyo de funcionarios/as de otras áreas, se priorizaron tareas y se gestionó la contratación de personal para completar los cupos vacantes.

Además, a fines de 2024, durante la revisión y actualización de los documentos del servicio, realizada para la gestión y desarrollo del PMG "Procesos de Provisión de Bienes o Servicios con Perspectiva

de Género", se modificó el tiempo de respuesta para el envío del informe de dosis a 10 días hábiles contados desde la recepción conforme de los dosímetros en la unidad. Esta modificación se incluyó en el documento "Términos y condiciones del servicio", disponible en el Portal de Trámites Digitales.

Hechos relevantes

• Participación en V Congreso de Estudiantes de Ciencias Físicas y Astronómicas

En septiembre, la Oficina Asesora de Comunicación Corporativa recibió una invitación de la Coordinadora de Estudiantes de Ciencias Físicas y Astronómicas de Chile (CECFA) para participar en el 5º Congreso de Estudiantes de Ciencias Físicas y Astronómicas.

El 10 de octubre y representando a la CCHEN, funcionarios y funcionarias de la CCHEN, mediante una colaboración conjunta de SEVRI, Sección transporte e investigadores DIAN, asistieron como expositores(as) en la Feria Científica de dicho congreso, en la casa central de la Universidad Técnica Federico Santa María (Valparaíso).

Esta participación generó un gran interés de los/las estudiantes asistentes en el tema de neutrones.

La experiencia dejó a la vista el gran interés de la comunidad universitaria en conocer las diferentes áreas de trabajo en investigación y servicio relacionadas con las radiaciones ionizantes. Queda como invitación el continuar asistiendo a estas actividades, que aportan valor al quehacer de la CCHEN, dando a conocer áreas de investigación desconocidas para la comunidad universitaria.



Foto 6: equipo CCHEN en actividades de divulgación.

Dosimetría citogenética

El servicio de dosimetría biológica o citogenética se realiza en el Laboratorio de Dosimetría Citogenética (LABDOCI), donde se efectúan análisis de estimación de dosis absorbida por personas presuntamente sobreexpuestas a radiación ionizante.

Hechos relevantes

- **Implementación de la plataforma automatizada de recuento y análisis de metafases**

En el marco del proyecto regional asociado al OIEA “Fortalecimiento de las Capacidades Regionales para Usuarios Finales y Organizaciones de Apoyo Técnico en Materia de Protección Radiológica y Preparación y Respuesta para casos de emergencia” (RLA9091), se recibió e instaló una plataforma automatizada de recuento y análisis de metafases.

Su objetivo es fortalecer y aumentar las capacidades de los equipos de respuesta a emergencias radiológicas y/o nucleares; en particular asociado a la estimación de dosis absorbida en escenarios de sobreexposición a radiación ionizante, es que esta donación es entregada al LABDOCI siendo éste el único laboratorio nacional en realizar dichas estimaciones.

Enlace de noticia publicada en sitio cchen.cl: www.cchen.cl/?p=8016



Foto 7-8: Instalación y puesta en marcha de plataforma automatizada de recuento de metafase en LABDOCI.

- **Taller de Dosimetría Citogenética para programa de Magíster Instituto de Física - Pontificia Universidad Católica de Chile**

En mayo se realizó el taller de dosimetría citogenética para los y las estudiantes de primer año del Magíster en Física Médica impartido por el instituto de física de la PUC. Las actividades se desarrollaron en la CCHEN, en el marco de un programa que incluyó clases teóricas, y jornadas prácticas y demostrativos en el laboratorio.



CCHEN
5.898 seguidores
7 meses •

...

Para apoyar la formación de profesionales del Magíster en Física Médica de la **Pontificia Universidad Católica de Chile**, realizamos un Taller de Dosimetría Citogenética, a cargo de **Valentina Verdejo** y **Analía Radl**.

Abordamos evaluación de dosis mediante parámetros biológicos aplicados, en particular, al ámbito de protección radiológica, sobre todo en caso de una emergencia radiológica o nuclear.



Foto 9: Taller Dosimetría Citogenética, alumnos Magíster Física Médica PUC.

- **Participación en las actividades de la Red Latinoamericana de Dosimetría Biológica (LBDNet)**

Ejercicio de intercomparación ensayo de dicéntricos + cafeína

Se analizaron imágenes digitales para tres puntos de dosis incógnitas. Los resultados del laboratorio fueron satisfactorios para las tres dosis. Los resultados de este ejercicio fueron enviados a publicar en la revista *International Journal of Radiation Biology*, el cual se encuentra en revisión.

Publicación

Publicación de artículo científico asociado a los resultados de un ejercicio de intercomparación del ensayo de dicéntricos mediante el análisis de imágenes digitales en la revista *International Journal of Radiation Biology* en abril 2024.

doi.org/10.1080/09553002.2024.2356556

Representación Internacional

En agosto de 2024, en coordinación con Centro de Incidentes y Emergencias del OIEA, se incorporó la LBDNet en la Red de Protección Radiológica Ocupacional (ORPNet), asociada al OIEA.

www.iaea.org/services/networks/orpnet/regional-networks/latin-american-biological-dosimetry-network-lbdnet

Visitas al Laboratorio

El laboratorio recibió visitas para dar a conocer su quehacer tanto en la respuesta a emergencia como asociado a los proyectos de investigación en los que participa. Las visitas fueron:

- Alumnos y alumnas de Química de la Facultad de Química y Farmacia de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Residentes de Oncología y Radioterapia de la Universidad de Valparaíso (noviembre 2024).
- Taller Nacional “Radiofarmacia en el sistema público en Chile” (noviembre 2024).

Actividades de capacitación y difusión

Las integrantes del laboratorio participaron en el simposio híbrido “Radioresistencia”, organizado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, el Centro de Investigaciones del Cáncer de Alemania (*German Cancer Research Center*) y Clínica Alemana, el 23 y 24 de abril de 2024.

www.hcla.uni-heidelberg.de/es/newsroom/celebracion-de-nuestra-duradera-cooperacion-en-el-area-de-fisica-medica-con-chile-abril-2024



Foto 10-11: Participación de funcionarias LABDOCI en Simposio Híbrido: Radioresistencia.
Desde el Centro Regional de Ciencias Nucleares del Nordeste de Brasil, se recibió la invitación para

participar del Workshop Sistemas Automatizados de captura de imágenes y trabajo en red en casos de accidentes radiológicos y nucleares, las integrantes del LABDOCI presentaron como experta en los siguientes temas:

- “Dosimetría biológica combinada con trabajo en red en casos de accidentes radiológicos y/o nucleares”.
- “Módulo práctico: Conociendo un sistema automatizado de captura de imágenes”.

www.gov.br/crcnne/pt-br/assuntos/noticias/crcn-ne-promove-workshop-internacional-no-proximo-dia-04-de-novembro

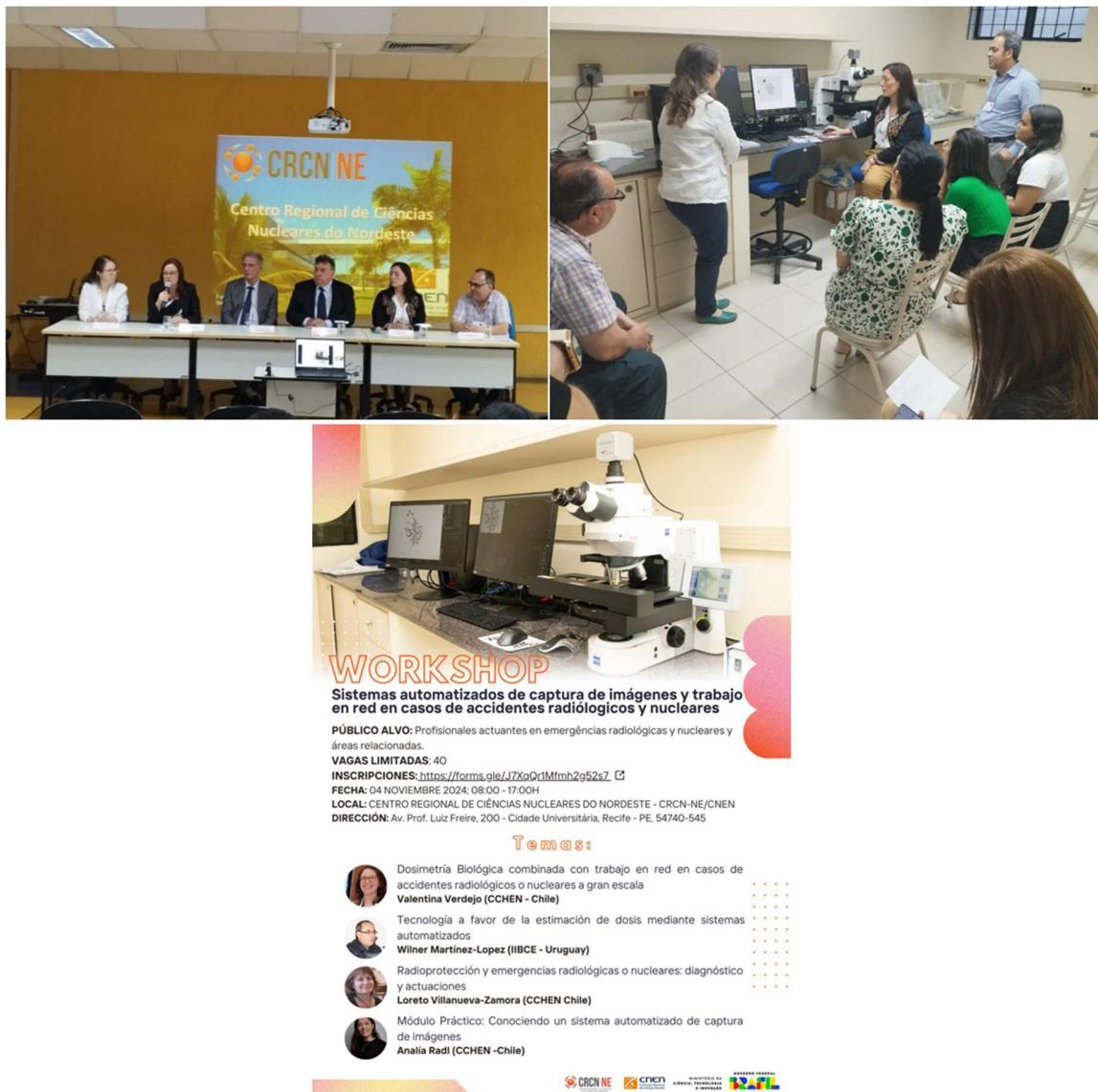
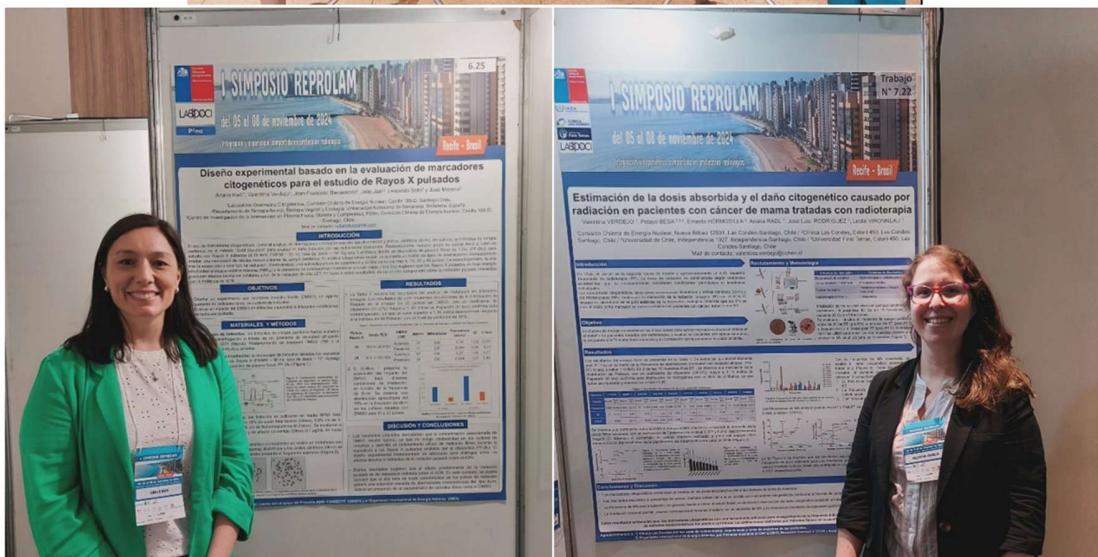


Foto 12-13-14: Participación de Workshop En Centro Regional de Ciencias Nucleares.

Se participó en el I Simposio de Red de Optimización de la Protección Radiológica en Latinoamérica

y Caribe (REPROLAM), que tuvo lugar en Recife, Brasil, del 5 al 8 de noviembre de 2024. El laboratorio presentó dos pósteres:

- “Estimación de la dosis absorbida y el daño citogenético causado por radiación en pacientes con cáncer de mama tratadas con radioterapia”.
- “Diseño experimental basado en la evaluación de marcadores citogenéticos para el estudio de Rayos X pulsados”.



*Fotos 15-16-17: Participación en el I Simposio REPROLAM.
Resultados de actividades de continuidad*

- Actividades rutinarias y respuesta a emergencia

En 2024 no se recibió ninguna solicitud de ensayo para la estimación de dosis absorbida en personas presuntamente sobreexpuestos a radiación ionizante. Por otro lado, se realizaron 17 ensayos asociados a verificar el buen rendimiento de reactivos y funcionamiento de equipos, y desarrollo de proyectos de investigación y colaboración.

Metrología de Radiaciones Ionizantes en Salud

Actividades relevantes del período

- Enero de 2024: Personal técnico de Best (ex Best Thertronics) realiza el recambio de la fuente recientemente adquirida en la unidad “Theratron Phoenix 2000 N°127” del DMRI. Esta nueva fuente de Co-60 tiene una intensidad nominal de 508,1 TBq (13733 Ci).
- El DMRI mantiene su condición de “Laboratorio Designado para las magnitudes de Radiaciones Ionizantes”, de la Red Nacional de Metrología, formalizada en el “Convenio de Desempeño y Transferencia de Recursos”, INN-CCHEN.
- Visita experto NRC-CNRC (Canadá): En el marco del convenio de desempeño INN-CCHEN, el laboratorio recibió la visita del experto Dr. Malcom McEwen, Principal Research Officer, Metrology Research Centre, NRC, Canadá, del 18 al 22 de noviembre de 2024.
- En su calidad de Laboratorio Designado para magnitudes de Radiaciones Ionizantes, el DMRI se encuentra participando en el ejercicio de comparación interlaboratorios del Sistema Interamericano de Metrología “SIM.RI(I) K1-K4 Comparison of Air Kerma and Absorbed Dose to Water in Co-60 Fields”. En esta intercomparación participan los siguientes laboratorios/países: CCHEN (Chile), CNEA (Argentina), ININ (México), LNMRI-IRD (Brasil), MIEM (Uruguay), NIST (EEUU) y NRC (Canadá, laboratorio Piloto). A la fecha de este informe el laboratorio se encuentra en la etapa de mediciones, se espera finalizar esta etapa en enero de 2025.

Resultados actividad de continuidad

En 2024, se realizaron 314 calibraciones tanto para usuarios(as) externos como internos de la CCHEN, desglosándose por sector productivo como sigue:

- 130 calibraciones sector Investigación.
- 112 calibraciones sector Industria.
- 72 calibraciones sector salud.

- **Gestión de residuos radiactivos**

La Sección Gestión de Desechos Radiactivos tiene como objetivo proponer, operar y mantener la infraestructura operacional técnico-administrativa en CCHEN para satisfacer las necesidades de los generadores de desechos y fuentes radiactivos selladas en desuso de Chile. Para ello, centraliza todas las actividades relacionadas con la gestión de desechos radiactivos que se generen en el país como producto de aplicaciones para usos pacíficos de la energía nuclear, a fin de proteger al ser humano, los bienes y el medio ambiente.

Líneas de trabajo y resultados

Cumpliendo su objetivo, la sección desarrolla su quehacer en las áreas de:

- **Gestión de desechos y fuentes radiactivas selladas en desuso**

Este servicio corresponde a la recepción, tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento de los desechos radiactivos entregados por generadores tanto de instalaciones radiactivas y nucleares del país como de la CCHEN.

El 2024, SEGEDRA recibió aproximadamente 4,72 [m³] de desechos y fuentes radiactivos selladas en desuso para su tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento en forma segura.

La gestión de los desechos radiactivos y fuentes radiactivas selladas en desuso que se recibieron durante en 2024, se realizó en base a la evaluación de 61 solicitudes de servicio provenientes de clientes internos y externos, de las cuales 27 corresponden a generadores dentro de la CCHEN, y 43 solicitudes a clientes externos. De este último grupo, se recibieron desechos radiactivos y FRSD de 16 instalaciones generadoras del país y se realizaron tres evaluaciones de desechos radiactivos en instalaciones del generador, no incluyendo a la CCHEN.

Operación

SEGEDRA cuenta con instalaciones para el tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento de desechos radiactivos y fuentes radiactivas selladas en desuso en condiciones de seguridad física y radiológica, de acuerdo a la reglamentación nacional y a las recomendaciones internacionales.

El volumen de desechos radiactivos recibidos durante el 2024 fue de aproximadamente 4,72 [m³], donde el 62% corresponde a clientes externos y un 26% proviene de las aplicaciones, investigaciones y desarrollos de la CCHEN.

Hechos relevantes

Este año se realizó una reunión internacional entre el 2 y 6 de septiembre, “Interregional Meeting on the Selection of Disposal Option for Disused Sealed Radioactive Sources”. Participaron más de 40 personas de 28 países.



Foto 18: Reunión de trabajo en Hotel Novotel.



Foto 19: Visita participantes Reunión Instalación de Almacenamiento Centralizada de Desechos Radiactivos.

- La Instalación de Desechos Radiactivo, La Reina, cumplió 50 años, ya que fue construida en paralelo al Reactor Experimental Chileno N°1 (RECH 1) en 1974.

Actividades de capacitación, participación en reuniones e instancias de difusión

Visita Científica a Instalaciones de ENRESA, España, organizado por el OIEA y ENRESA, del 25 al 29 de noviembre de 2024.

La participación de Marcelo Mendoza, junto al Jefe de División Producción y Servicios, Richard González, al Jefe (S) del Departamento de Servicios de Protección Radiológica, Ricardo Videla, y al Especialista en Gestión de Desechos Radiactivos, Claudio Quilaqueo, consistió en una visita científica para conocer la experiencia española en la creación del “Plan General de Gestión de Residuos Radiactivos” y cómo este documento ha servido para enfocar los trabajos pasados, presentes y futuros de ENRESA en España, en relación a la gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento de instalaciones y centrales nucleares.

Esta visita científica nace en el marco de un proyecto, con número de referencia OIEA SV-CHI9026, que busca la creación de una política y estrategia chilena sobre la gestión de desechos radiactivos y combustible gastado.

Vigilancia radiológica ambiental

En mayo del año 2024 el laboratorio de vigilancia radiológica ambiental recupera la capacidad operativa de sistema de extracción de gases, que se encontraba perdida desde el año 2021.

En diciembre de 2024 se realizó el cambio de tecnología de transmisión de datos de las Estaciones de Monitoreo Radiológico Ambiental del CEN La Reina, debido a la desconexión digital producida por el cese de la red 2G por las empresas de telecomunicación del país.

El Personal del Departamento participó en capacitación del nuevo programa de entrenamiento de software iAVID de sistemas de detección de radiación avanzados SPARC, siendo de utilidad para aplicar a los equipos que se tienen disponibles en la unidad, y parte de un entrenamiento interno para responder a emergencias radiológicas. Adicionalmente dentro de las actividades se participó en una actividad demostrativa en la escuela de Emergencias del OIEA en conjunto con la Autoridad Regulatoria de Argentina (ARN) y el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) a través de

su Laboratorio NNSA.

El Departamento en línea con las políticas de género promovidas por el gobierno de Chile efectuó un análisis del Curso Básico de Elementos de Protección Radiológica (CUBEPRO) para detectar la existencia de sesgos de género y lenguaje sexista. A partir de dicho análisis, se implementaron mejoras para la incorporación de la perspectiva de género y el lenguaje inclusivo de género en dicho curso.

La dosis de un trabajador o trabajadora está limitada, en el Artículo 12 del Decreto N°3 de 1985 del Ministerio de Salud, a 50 mSv en el año. Con un principio de protección se espera que las dosis sean tan bajas como sea razonablemente posible alcanzar. En este sentido, el Instituto de Salud Pública ha implementado desde el año 2007, el Sistema de Vigilancia Radiológica Personal Ocupacional, que se activa con cualquier resultado de dosis para cuerpo entero superior a 5 mSv en un trimestre.

Cuando el promedio de las dosis de los trabajadores y trabajadoras de la CCHEN es inferior a 10 mSv en un año, se reduce la probabilidad que la dosis de un trabajador active el sistema de vigilancia.

El indicador para las mujeres tuvo un valor de 0,00 mSv en el año, que corresponde a un valor dentro de lo esperado (inferior a 10 mSv en el año) y menor que el indicador para los hombres. Lo anterior está acorde al hecho de que se trata de una persona con funciones de supervisión.

El indicador para los hombres tuvo un valor de 1,22 mSv en el año, que corresponde a un valor dentro de lo esperado (inferior a 10 mSv en el año).

El indicador no está desagregado por gestión territorial.

Aumenta: El indicador efectivo 2024 tuvo una variación positiva del 14,29% con relación al indicador efectivo 2023. El valor del indicador (1,12) es muy inferior a 10 mSv en el año por lo que el aumento no representa un riesgo.

Mantiene: El indicador efectivo 2024 tuvo una variación del 0% con relación al indicador estimado 2024.

El numerador efectivo 2024 es un 116% mayor que el numerador estimado 2024. Este aumento tiene como origen el aumento de denominador, ya que se trata de un aumento en el personal que tiene como consecuencia un aumento de términos de la sumatoria de dosis.

El denominador efectivo 2024 es un 117% mayor que el denominador estimado 2024. En la estimación se supuso que no habría contrataciones durante el 2024, sin embargo, durante el año se autorizó la contratación de personal para lograr el cumplimiento de requisitos sanitarios.

CCHEN SALUD

Tecnología de Irradiación

La Sección Irradiaciones está integrada por:

Planta de Irradiación Multipropósito (PIM)

- Número de toneladas de alimentos y otros productos tratados con radiación ionizante

La cantidad de productos alimenticios tratados durante el año 2024 fue de 614 toneladas y en el caso de productos no alimenticios fue de 58 toneladas.

- Número de solicitudes de servicio recibidas y de solicitudes concretadas

Número de solicitudes concretadas durante el año 2024 fueron 285, la disminución en la cantidad de solicitudes tratadas respecto al año anterior se debió a la disminución de la actividad del Cobalto esto conlleva a que cada proceso tiene un aumento de casi 13% en el tiempo de proceso. Además, durante el año por diferentes motivos la planta estuvo detenida un poco más de tres meses esto significa que el tiempo real de utilización de la planta fue casi del 50%.

- Tipo de Productos procesados: Alimentos; médicos; otros.

La mayor cantidad de productos procesados del área de alimentos fueron los congelados (camarones, langostinos y salmones), especias (pimentón, orégano, ajo molido, cebolla molida, linaza, hierbas diversas). En los productos del área no alimentos tratados se puede considerar cremas, viruta de álamo, sales exfoliantes, polvos de extintores para quirófanos y talco.

Irradiador La Reina

Tipo de Productos Irradiados y Volumen

En el Laboratorio de Irradiación se diferencian los productos tratados entre productos sanguíneos y productos no sanguíneos y el tratamiento de los productos los consideramos como cargas y en el caso de los hemocomponentes cada carga puede tener un volumen de 1,5 cc equivalente a 1,5 kg (hemos considerado que los hemocomponentes tienen una densidad similar al agua) estos pueden ser glóbulos, plaquetas y aféresis de plaquetas. En el caso de los productos tratados considerados No Sanguíneos se considera como carga, pero cada carga debe tener una masa máxima de 7,5 kg. Los productos No Sanguíneos tratados en un alto porcentaje son gusanos tebos utilizados para recreación en Estados Unidos y Canadá, bolsas plásticas para uso en laboratorios, tejidos óseos, amnios e implantes dentales.

Nº cargas para tratamiento de hemocomponentes provenientes de instituciones de salud

Cargas totales tratadas en 2024 es de 13555, que corresponde al tratamiento de 23837 bolsas de glóbulos, 53161 bolsas de plaquetas y 9982 bolsas de aféresis (concentrados). Esto significa un aumento del 4% en el número de cargas respecto al año 2023.

Cantidad de productos no sanguíneos tratados en el periodo

Productos no sanguíneos tratados alcanzaron a las 1133 cargas, entre tejidos amnios, piel y óseo. También se deben considerar implantes dentales, tratamientos de materia prima de insumos farmacológicos, laboratorios, gusanos tebos y semillas irradiadas para la investigación de su germinación. Esto significó un aumento del 25% de las cargas tratadas respecto al año 2023.

Laboratorio de Irradiación

- **Tipo de productos irradiados y volumen**

En el Laboratorio de Irradiación se diferencian los productos tratados entre Productos Sanguíneos y Productos No Sanguíneos y el tratamiento de los productos los consideramos como cargas y en el caso de los hemocomponentes cada carga puede tener un volumen de 1,5 cc equivalente a 1,5 kg. Estos pueden ser glóbulos, plaquetas y aféresis de plaquetas. En el caso de los productos tratados considerados no sanguíneos se considera como carga, pero cada carga debe tener una masa máxima de 7,5 kg. Los productos No Sanguíneos tratados en un alto porcentaje son gusanos tebos utilizados para recreación en Estados Unidos y Canadá, bolsas plásticas para uso en laboratorios, Tejidos óseos, Amnios que es enviado por el Banco Nacional de Tejidos Del Servicio Nacional de Salud, implantes dentales etc.

- **Cantidad de cargas para tratamiento de hemocomponentes de instituciones de salud**
Cargas totales tratadas en es de 13555, que corresponde al tratamiento de 23837 bolsas de glóbulos, 53161 bolsas de plaquetas y 9982 bolsas de aféresis. Hubo un aumento del 4% en el número de cargas respecto al año 2023.
- **Cantidad de productos no sanguíneos tratados en el periodo.**
Productos no sanguíneos tratados alcanzaron a las 1133 cargas, entre tejidos amnios, piel y óseo. También se deben considerar implantes dentales, tratamientos de materia prima de insumos farmacológicos, laboratorios, gusanos tebos y semillas irradiadas para la investigación de su germinación. Esto significó un aumento del 25% de las cargas tratadas respecto al año 2023.

Planta de Irradiación Multipropósito PIM

- **Número de toneladas de alimentos y otros productos tratados con radiación ionizante**
La cantidad de productos alimenticios tratados durante el año 2024 fue de 614 toneladas y en el caso de productos no alimenticios fue de 58 toneladas.

- **Nº de solicitudes de servicio recibidas y de solicitudes concretadas**
Número de solicitudes concretadas durante el año 2024 fueron 285, la disminución en la cantidad de solicitudes tratadas respecto al año anterior se debió a la disminución de la actividad del Cobalto esto conlleva a que cada proceso tiene un aumento de casi 13% en el tiempo de proceso.

Además, durante el año por diferentes motivos la planta estuvo detenida un poco más de tres meses esto significa que el tiempo real de utilización de la planta fue casi del 50%.

- Tipo de productos procesados: alimentos, médicos y otros.

La mayor cantidad de productos procesados del área de alimentos fueron los congelados (camarones, langostinos y salmones), especias (pimentón, orégano, ajo molido, cebolla molida, linaza, hierbas diversas). En los productos del área no alimentos tratados se puede considerar cremas, viruta de álamo, sales exfoliantes, polvos de extintores para quirófanos y talco.

Avance en proyecto habilitación operacional año 2024, nuevo laboratorio instalaciones ciclotrón: Durante el año 2024, se llevó a cabo la identificación y definición de los equipos esenciales para garantizar el cumplimiento integral de los estándares tanto en el ámbito radiológico como en el farmacológico. Este esfuerzo se realizó en estricta conformidad con las Buenas Prácticas de Manufactura (GMP), específicamente bajo la Norma Técnica M°127, asegurando un nivel de calidad que cumple con las exigencias regulatorias y operativas.

Asimismo, se avanzó significativamente en el establecimiento de las bases para el registro sanitario del radiofármaco 18F-FDG, un hito fundamental para su producción y comercialización. Este trabajo se realizó en colaboración con estudiantes de último año de la carrera de Química y Farmacia de la Universidad Andrés Bello, quienes contribuyeron en la recopilación de esta valiosa información.

Estos avances están estrechamente vinculados a la implementación y operación de las nuevas instalaciones, marcando un paso clave en el fortalecimiento de las capacidades de producción de radiofármacos y su alineación con los estándares internacionales de calidad.

Investigación en dosimetría

Proyecto "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"

Investigador: José Moreno. Co-investigadoras: Valentina Verdejo; Analía Radl
ANID FONDECYT Regular

Hito	Fecha (Proyectada)	Objetivo Principal	Resultados y Conclusiones Clave
Hito 1	30 de abril de 2024	Optimización de Dosis: Medición de dosis con TLD en PF-2kJ con nueva configuración de electrodos para optimizar la emisión de Rayos X por pulso.	Aumento de la dosis: La nueva configuración de electrodos logró un aumento de la dosis por pulso de casi un 45%.

Hito 2	30 de abril de 2024	Pruebas de Cultivos: Estandarización del protocolo de separación y cultivo de monocapas de linfocitos en presencia de Dimetilsulfóxido (DMSO).	Protocolo: Se estableció el protocolo LABDOCI como el más eficiente para la separación de linfocitos. Concentración de DMSO: Se confirmó que la concentración de 1M de DMSO no es tóxica para los cultivos de linfocitos.
Hito 3	31 de mayo de 2024	Irradiación en Gamma-cell: Ensayos de irradiación con una fuente convencional (Co-60) en presencia/ausencia de DMSO.	Efecto DMSO: Los resultados preliminares sugirieron que el DMSO no afecta el cultivo, siendo el promedio de células contadas incluso mayor en su presencia. Desafío: El bajo recuento de células al fijar las muestras dificultó el análisis de las Aberraciones Cromosómicas (ACI).
Hito 4	31 de julio de 2024	Irradiación con PF-2kJ: Primera campaña de irradiación de monocapas de linfocitos con el dispositivo PF-2kJ (20 y 10 pulsos).	Los resultados obtenidos en la primera campaña no permitieron realizar el recuento de Aberraciones Cromosómicas Inestables (ACI) debido a la baja producción de linfocitos en estadio de metafase. Durante la segunda campaña de irradiación, se logró obtener la frecuencia de ACI en modo triage de lectura para la condición de irradiación 10 pulsos sin DMSO. Como resultado preliminar, se observó que el dispositivo PF-2kJ es más efectivo en la configuración actual, dado que la inducción de ACI fue mayor que la reportada por nuestro grupo de trabajo en la publicación de 2023. Sin embargo, a pesar de que el Índice Mitótico (IM) superó el 2,5%, no fue posible alcanzar las 500 metafases necesarias para el análisis de las muestras mediante el método convencional de lectura, lo cual resulta esencial para obtener una estimación precisa de la frecuencia de ACI. Por tal motivo, se prevé repetir los ensayos aplicando el protocolo de Merck a fin de obtener un número mayor de linfocitos y un mejor rendimiento de células en metafases. Adicionalmente, se continuará con el análisis de la muestra 08-24-04 (10 pulsos con DMSO) para comparar las condiciones de cultivo.

Hito 5	31 de agosto de 2024	Ánalysis de Muestras Irradiadas: Análisis de Aberraciones Cromosómicas Inestables (ACI) de las muestras irradiadas a 10 pulsos con y sin DMSO.	Efecto de DMSO y Vía de Daño: - Sin DMSO: Frecuencia de ACI de 0,20 . - Con DMSO: Frecuencia de ACI de 0,09 (una disminución del 55%). Conclusión Principal: Esta disminución sugiere que el DMSO es un agente radioprotector efectivo y, por lo tanto, que el efecto indirecto de la radiación (a través de la formación de radicales libres) es el mecanismo predominante en el daño al ADN al usar la fuente pulsada. Pendiente: Se necesita repetir los ensayos con el protocolo Merck para alcanzar el recuento de 500 metafases necesario para una estimación precisa de la frecuencia de ACI.
---------------	----------------------	---	---

Estudio prospectivo de pacientes con cáncer de mama en tratamiento con radioterapia

Este proyecto, en colaboración con Clínica Las Condes, se inició en el marco del proyecto CRP E35010 “Applications of Biological Dosimetry Methods in Radiation Oncology, Nuclear Medicine, Diagnostic and Interventional Radiology (MEDBIODOSE). Si bien el proyecto CRP finalizó, se decidió continuar con el reclutamiento de pacientes para contar con un estudio prospectivo más robusto. En 2024 se lograron reclutar cuatro pacientes más.

CCHEN ENERGÍA

El Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética de la CCHEN (METS) se dedica incansablemente a explorar nuevos materiales y procesos que prometen transformar la industria energética. Desde el desarrollo de materiales híbridos con el potencial de revolucionar la generación de energía hasta el almacenamiento y transporte eficiente de esta, este centro está inmerso en la búsqueda constante de innovaciones tecnológicas sostenibles. Para ello, investiga métodos de extracción y reciclaje que no solo son respetuosos con el medio ambiente, sino también socialmente responsables, marcando así el camino hacia un futuro energético más limpio y ético.

El área de investigación se concentra en el desarrollo de nuevos materiales y procesos para tecnologías limpias de generación y almacenamiento de energía. Este campo multidisciplinario implica la síntesis y caracterización de materiales avanzados, así como la innovación en procesos para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los dispositivos relacionados con la generación y almacenamiento de energía. Se enfatiza en la obtención sostenible de elementos críticos para la industria energética, esenciales para las tecnologías de energía renovable y dispositivos de almacenamiento de energía.

Proyecto “Diseño computacional y estudio de propiedades de sistemas fotoactivos basados en perovskitas para su aplicación en celdas solares”

Investigadora: Merlys Borges

El proyecto se centra en la optimización y evaluación de diferentes composiciones de perovskitas (PKref: MAPbI₃, PK1, PK2) y el estudio de capas de transporte de huecos (HTM), como Spiro-OMeTAD y pentaferinas, además de la inclusión de grafeno.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados clave en 2024:

- **Propiedades de Perovskitas (Bulk):** Se optimizaron las estructuras de diversas perovskitas, incluyendo sistemas con baja concentración de cesio (Cs), los cuales mostraron propiedades adecuadas para su uso como material fotoactivo.
- **Diseño de Interfases y HTMs Alternativos:** Se construyeron y estudiaron superficies de las perovskitas, Spiro-OMeTAD y grafeno. Se evaluó un conjunto de nueve **pentaferinas** como HTMs alternativos, encontrando que alcanzan valores de corriente vs. voltaje de un orden de magnitud superior al Spiro-OMeTAD, sugiriendo que son una alternativa viable para celdas solares de perovskita invertidas.
- **Ánalysis de Dispositivos PK/HTM:** La unión entre la perovskita y el Spiro-OMeTAD o las pentaferinas es termodinámicamente favorable, siendo las uniones con pentaferinas más viables energéticamente. El análisis electrónico indica una **transferencia favorable de huecos hacia el HTM** en la interfase. Se comparan las energías de adsorción para los diferentes sistemas:

Sistema	Energía de Adsorción (kJ/mol)
Pentaferinas/PKref	-105 a -307

MAPI/Spiro (PKref/Spiro)	-67
PK1/Spiro	-74
PK2/Spiro	-132

- **Efecto de la Composición de la Perovskita (PK1, PK2):** El sistema **PK1/Spiro** (con baja concentración de Cs) mostró valores de photocorriente similares al sistema de referencia (PKref), siendo un candidato prometedor. El sistema PK2/Spiro tuvo valores de photocorriente inferiores, lo cual se atribuye a su *band gap* más alto.
- **Inserción de Grafeno (PK/G/Spiro):** La unión Spiro/Grafeno es termodinámicamente favorable. El grafeno, al estar en contacto con la perovskita o el Spiro, potencia la movilidad de los portadores de carga. Sin embargo, en la arquitectura PK/Grafeno/HTM, se observó que el grafeno **direcciona el flujo de electrones hacia sí mismo**, lo que es contraproducente ya que bloquea el flujo de huecos hacia el HTM. Se recomienda incluir el grafeno en la arquitectura del dispositivo en la interfaz PK/ETL o como electrodo.

Publicaciones Generadas

El informe final reporta los resultados de este proyecto en dos publicaciones:

1. **Publicado:** “Computational design and properties elucidation of new (FAPbI₃)_{1-x}y(MAPbBr₃)_y(CsPbBr₃)_x photoactive systems for their application in perovskite solar cells.” en *Materials Today Communications* (2023).
2. **Manuscrito en revisión:** “Pentaphyrins as HTMs for inverted perovskite solar cells.”

Actividades del Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética

Presentación de trabajos en conferencias y simposios nacionales

Título	Congreso	Fecha
A theoretical study of simultaneous extraction of magnesium and boron using ionic liquids	LatinXChem Conference 2024	14-15/10/2024
In search of efficient lithium brine purification through simultaneous extraction of magnesium and boron using a novel ionic extractant	6th International Conference on Materials Science, ICMS 2024	21-24/10/2024
Fabricación de Esponjas de Quitosano Químicamente Modificado para Aplicaciones de Almacenamiento de Hidrógeno en Estado Sólido	VIII Simposio Latinoamericano de Polímeros (SLAP)	02-06/12/2024
Efecto de la polaridad del voltaje aplicado durante el proceso de electrohilado sobre la humectabilidad de mallas de PEI	VIII Simposio Latinoamericano de Polímeros (SLAP)	02-06/12/2024

Presentaciones de trabajos en conferencias y congresos internacionales

Título	Congreso	Fecha
Dual radio frequency plasma enhanced pulsed laser deposition of metal nitride and oxide thin films	4th International Conference on Materials Science	31/01-02/02/2024
Recovery of Valuable Metals from Copper Tailings of the III and IV Regions of Chile, through Leaching Processes and the Use of Surfactants	3rd International Electronic Conference on Processes	29-31/05/2024
In search of efficient purification of lithium brines by simultaneous extraction of magnesium and boron using a novel ionic liquid	European Advanced Materials Congress 2024	25-29/08/2024
Modificación de Materiales para Problemas Ambientales y Tecnológicos	11th International Conference of Technological Innovation	10-13/09/2024
Modulation of titanium oxynitride thin films in a dual radiofrequency plasma enhanced pulsed laser deposition.	6th International Conference on Materials Science	21-24/10/2024

Formación de estudiantes

Nombre del estudiante	Programa/Universidad	Actividad	Tutor CCHEN
Benjamín Parraguez	Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención procesos. Universidad de Santiago de Chile	Tesis doctoral	Julio Urzúa
Thomas Maza	Ingeniería Civil Química. Universidad Autónoma	Tesis de pregrado	Julio Urzúa

CCHEN ESTADOS DE LA MATERIA

Con un enfoque experimental y teórico, el Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad de la CCHEN, P²mc, centra sus investigaciones 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 una fuerte 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. Ello permite a la CCHEN enfrentar los nuevos desafíos que presentan las energías no convencionales emergentes y las tecnologías nucleares de vanguardia.

Investigación en estados de la materia

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: Biswajit Bora.

ANID FONDECYT Regular

El avance del proyecto se realizó a través de cuatro hitos clave, enfocados en el diagnóstico y la caracterización del plasma térmico y la implementación de un sistema de expansión helicoidal.

Hito Cumplido	Fecha de Cumplimiento	Descripción del Resultado
Diagnóstico calorimétrico de antorchas de plasma y estimación de eficiencia.	31/05/2024	Se caracterizó la antorcha de plasma mediante el método calorimétrico, estimando la eficiencia para diferentes corrientes (100 A, 150 A, 170 A) y flujos de gas de plasma (10 LPM, 15 LPM, 20 LPM).
Diagnóstico por espectroscopía de emisión óptica del proceso de expansión lineal supersónica del plasma térmico.	31/08/2024	La antorcha de plasma fue caracterizada mediante el método de espectroscopía de emisión óptica.

Instalación de sistema de boquillas espirales para expansión supersónica helicoidal de plasma térmico.	31/10/2024	Se diseñó, desarrolló e instaló la boquilla en espiral. Se realizaron experimentos preliminares sobre la producción de plasma utilizando esta nueva boquilla, mostrando la expansión del plasma saliendo de ella.
Caracterización de la expansión helicoidal del plasma térmico.	31/12/2024	La expansión helicoidal del plasma fue caracterizada con una técnica calorimétrica para determinar la eficiencia de la antorcha. Se midió la energía depositada en los componentes (cátodo, anillos, ánodo, boquilla) y se estimó la eficiencia para corrientes de 100A, 125A y 150A con flujos de Argón de 10 LPM y 15 LPM.

Proyecto “Investigación Fundamental en Descargas de Plasma Foco de Baja Energía en un Régimen de Producción de Neutrones Altamente Eficiente”

Investigador: Cristián Pavez

ANID FONDECYT Regular

Los objetivos principales del proyecto se desarrollaron exitosamente en el régimen de operación optimizado y en los experimentos con los generadores PF-50J, PF-400J y GMP, incluyendo la implementación exitosa del criterio de optimización en el generador PF-2kJ.

Avances y Rendimiento:

- Se realizó una adaptación en los generadores PF-50J, PF-400J, GMP y PF-2kJ con configuraciones de electrodos de fase axial larga y radio reducido. En todos se observó un mayor rendimiento en la compresión radial y la profundidad de *dip*.
- Los generadores PF-400J, GMP y PF-2kJ mostraron un mejor rendimiento en la producción de neutrones.
- Las campañas de medición de neutrones en condiciones optimizadas para PF-400, GMP y PF-2kJ mostraron que los generadores PF-400J y GMP superan lo establecido por el escalamiento experimental conocido hasta la fecha.

Diagnósticos y Diseños:

- Se estudió la dinámica del plasma en el generador GMP con diagnósticos ópticos refractivos ultrarrápidos (170ps), lo que permitió identificar procesos de autoorganización como filamentos e inestabilidades, y caracterizar la dinámica del plasma.
- Se utilizaron técnicas Monte Carlo GEANT4 para diseñar blindajes de detectores de neutrones con baja respuesta a neutrones retrodispersados, empleando moderadores de polietileno de alta densidad (HDP) y HDP-borado.
- Se llevó a cabo un estudio de medición de neutrones y la contribución de neutrones retrodispersados en el generador GMP, además de medir la dosis de neutrones para el

campo pulsado.

Mediciones Simultáneas:

- Se realizaron mediciones simultáneas de la temperatura del plasma y características de la dinámica mediante técnicas de *Scattering de Thomson*, *schlieren* y mediciones de neutrones en gas D2, siendo esta la primera medida de su tipo en un dispositivo *plasma foco* (PF) de baja energía y corriente.
- Se efectuaron mediciones simultáneas de neutrones y protones de fusión en los generadores GMP, PF-2kJ (en configuraciones optimizadas) y el generador Llampudken (PUC) en modo *Gas-puff*. La técnica de mediciones de protones con CR-39 permitió caracterizar el espectro de energía, la región y el tamaño de la fuente de emisión y la anisotropía espacial de los protones (en proceso de análisis).

Productos Académicos:

- Se han publicado 3 artículos WOS con resultados del proyecto, se es coautor de un *review* indexado en Scopus y WOS (ESCI), hay un artículo en revisión (WOS) y dos en preparación para ser enviados el primer semestre de este año.
- El Investigador Responsable (IR) presentó 4 trabajos en conferencias internacionales especializadas (dos online y una presencial) y una presentación oral en el 1er Congreso Chileno de Física de Plasma. Además, es coautor de 8 trabajos en conferencias, tanto internacionales como nacionales.

Cooperación Internacional

El proyecto contó con la colaboración de dos investigadores extranjeros, con estancias planificadas para desarrollar mediciones y análisis específicos.

1. Dr. Daniel Klir (Universidad Técnica Checa de Praga)

- **Fechas de estadía:** Del 14/01/2024 al 27/01/2024.
- **Actividades:** Se planificaron experimentos de colaboración tras una reunión en la conferencia "Dense Z pinch 2023". El Dr. Klir se interesó en realizar mediciones de protones de fusión usando detectores pasivos CR-39 para medir espectros, región de emisión, tamaño de fuente y anisotropía en la emisión de protones en diferentes regímenes de corriente y energía.
- **Desarrollo:** El trabajo se focalizó en tres generadores: dos en configuración PF y el generador Llampudken (PUC) en modo *Gas-puff*.
- **Productos Esperados:** Se obtuvieron resultados preliminares en todos los experimentos con información de protones de fusión, y se espera elaborar al menos una publicación durante este año.

2. Dr. Ariel Esteban Tarifeño Saldivia (Instituto de Física Corpuscular Universidad de Valencia)

- **Fechas de estadía:** Del 19/12/2022 al 23/01/2023.
- **Actividades:** Su visita se coordinó para revisar detectores de neutrones, realizar recomendaciones sobre el análisis de señales, y diseñar un experimento para medir la contribución de neutrones retrodispersados en la producción total de neutrones. Para esto

se utilizaron el detector Ymon (desarrollado por D. Tarifeño) y dos detectores CCHEN (3He-206 y 3He-209). También se realizaron medidas de dosis de campo neutrónico pulsado.

- **Productos:** Parte del análisis se presentó en la conferencia Dense Z-pinch 2023. Otra parte está en revisión en la revista *Radiation Physics and Chemistry*. Un artículo sobre las mediciones de producción de neutrones se está preparando para ser enviado en el primer semestre de este año.

Proyecto “Investigación sobre los efectos de la radiación pulsada: desarrollo y optimización de una fuente de radiación pulsada de nanosegundos basada en el dispositivo de foco de plasma”

Investigador: Jalaj Jain.

ANID FONDECYT Iniciación.

La iniciativa busca analizar las condiciones de deposición del material sobre las superficies metálicas, a partir del uso del dispositivo de foco de plasma, para estudiar el efecto de choque de plasma axial en materiales relacionados con los reactores de fusión nuclear. También se estudiarán las medidas de emisión de radiación (rayos X pulsados y/o neutrones) y la caracterización de dosis para aplicar a muestras biológicas.

El aporte de este proyecto se centra en la obtención de nuevos conocimientos sobre plasmas pulsados, radiación pulsada y la materia. Además, a partir del aprendizaje obtenido mediante el estudio del dispositivo Plasma Foco recientemente desarrollado, se abrirán varias áreas multidisciplinarias para la investigación y el desarrollo.

En 2024 se publicó el artículo "Plasma-induced damage on the tungsten surface using a kilojoule plasma focus device: Applicable to study the damages on nuclear fusion reactor related materials".

Resultados principales del estudio sobre daños en la superficie de tungsteno:

- **Objetivo:** Se estudiaron los daños inducidos en la superficie de tungsteno (un material candidato para reactores de fusión) en dos condiciones de operación de un dispositivo de foco de plasma de kilojulio (PF-2kJ).
 - **Condición 1 (Con pinch):** Las muestras fueron expuestas a choques de plasma axial, partículas cargadas y eyección de material posterior al *pinch*. Esto ocurrió a 5 mbar de presión.
 - **Condición 2 (Sin pinch):** La formación de *pinch* fue ausente o débil, permitiendo estudiar solo los efectos de los choques de plasma axial. Esto ocurrió a 1 mbar de presión.
- **Conclusión del Estudio:** El trabajo sugiere que los dispositivos de foco de plasma pueden operarse en diferentes regímenes de presión para estudiar tipos específicos de daño: a menor presión (*sin pinch*) para estudiar principalmente la formación de grietas y cráteres, y a la presión de ocurrencia de *pinch* para estudiar principalmente el fenómeno de fusión.

Conferencias Adicionales

XXIV Simposio Chileno de Física (noviembre 2024), ambos relacionados con la versatilidad y desarrollo de dispositivos de foco de plasma:

1. **Póster: "Design and development of a kilojoule plasma focus device for fundamental and applied research":**
 - Se describe el diseño y desarrollo de un dispositivo de foco de plasma de 5 kilojulios

en la Comisión Chilena de Energía Nuclear. Este se utilizará para estudiar fundamentos de la física del plasma, mecanismos de aceleración de partículas, fusión nuclear y como fuente de radiación pulsada para ciencias biológicas y de materiales.

2. **Charla: "Versatility of plasma focus devices: Fundamental and Applied Research":**

- Se presenta la versatilidad de los dispositivos de foco de plasma. Estos se han utilizado, desde los años 80, para la enseñanza y, más recientemente, han emergido como fuentes de radiación pulsada para aplicaciones médicas (incluido el tratamiento contra el cáncer) y ciencias de materiales (incluidos los materiales de cara al plasma para reactores de fusión). A nivel fundamental, son ideales para investigar fenómenos de física del plasma, inestabilidades y aceleración de partículas.

Proyecto “Propulsor de plasma miniaturizado para nanosatélites CubeSat”

Investigador: Leopoldo Soto.

ANID FONDECYT Regular

El proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un propulsor de plasma pulsado extremadamente miniaturizado, y desarrollar y evaluar en un laboratorio que simule las condiciones espaciales un modelo indirecto, a partir del cual se puedan estimar las variables de rendimiento de la topología/geometría de un propulsor extremadamente miniaturizado.

Los objetivos específicos planteados son:

- 1.- Desarrollar una serie de experimentos de laboratorio para estimar la masa y la velocidad del material expulsado producido por diferentes geometrías de propulsores miniaturizados.
- 2.- Caracterizar la dinámica del plasma en condiciones de laboratorio.
- 3.- Desarrollar un modelo físico, basado en los experimentos de laboratorio, para estimar la masa y la velocidad del material expulsado producido por diferentes geometrías de propulsores miniaturizados, a partir del cual se puedan deducir las variables de rendimiento del propulsor (impulso específico, fuerza, etc.).
- 4.- Evaluar la temperatura de los dispositivos PPT.
- 5.- Evaluar la emisión electromagnética (EMI) de los dispositivos PPT.
- 6.- Integrar un dispositivo PPT en un CubeSat.
- 7.- Evaluar el rendimiento del dispositivo integrado (CubeSat + PPT) en condiciones de laboratorio (interferencias EMI, temperatura, etc.).

Las actividades realizadas en 2024 incluyen:

- * Definición de requisitos técnicos y diseño de dispositivo experimental de propulsor de plasma: Hecho (relacionado con objetivos 1 a 5).
- * Caracterización eléctrica del propulsor: Hecho (relacionado con objetivos 1 a 5).
- * Evaluación de temperatura: Hecho (relacionado con el objetivo 4).
- * Caracterización óptica del plasma generado: Parcialmente hecho (algunos experimentos postergados por problema con láser en reparación).
- * Avance Parcial en: evaluación de masa y velocidad con variables de empuje (objetivos 1 y 3), diseño de un primer prototipo con su placa de control pendiente (objetivos 6 y 7), evaluación de emisión electromagnética, EMI (objetivo 5), desarrollo de un micro péndulo balístico (objetivo 3), y prueba de efectos del propulsor en cámara de vacío (objetivos 6 y 7).

Productos relacionados

- Artículos Publicados (financiados parcialmente por FONDECYT Regular 1211695): "An Effort to Use a Solid Propellant Engine Arrangement in the Moon Soft Landing Problem" (2022, WoS) y "Design and Stability Analysis of a Digital Automatic Power Control Based on a PI Controller for Laser Drivers" (2023, WoS).
- Tesis/Memorias: Tesis de Magíster titulada "Evaluación y caracterización de propulsor de plasma pulsado con esquema de electrodos basado en plasma foco", en ejecución (01/04/2024 - 31/12/2024), por Camilo Vásquez Wilson.

Proyecto "Mecánica Estadística Bayesiana: Teoría y herramientas computacionales para sistemas fuera del equilibrio con interacciones de largo alcance"

Investigador: Sergio Davis

ANID FONDECYT Regular

Los avances en 2024 fueron:

Modelo para la difusión atómica en el sólido sobrecalentado crítico basado en caminata de Lévy

- **Enfoque:** Se propone un nuevo modelo para describir la **difusión anómala** (un movimiento más rápido de lo normal, conocido como régimen superdifusivo).
- **Concepto Central:** El modelo se basa en las **Caminatas de Lévy**, un tipo de caminata aleatoria donde los desplazamientos atómicos siguen una **distribución de ley de potencia** (con colas alargadas), combinada con velocidades que siguen la distribución clásica de **Maxwell-Boltzmann** (correspondiente a un equilibrio termodinámico local).
- **Resultado Principal:** Las simulaciones Monte Carlo preliminares indican que el desplazamiento cuadrático medio (MSD, una medida de la distancia recorrida) asociado a este modelo exhibe un comportamiento **superdifusivo** para ciertas combinaciones de los parámetros del modelo.

Simulaciones Monte Carlo de difusión atómica mediadas por vacancias térmicas en sitios de una red cristalina

- **Enfoque:** Utiliza **Simulaciones Monte Carlo** para estudiar la difusión mediada por vacancias en una red cristalina específica (cúbica centrada en el cuerpo, BCC).
- **Concepto Central:** Se define un **histograma de movilidad atómica** que descompone el movimiento de los átomos en tres componentes (átomos que no se mueven, que se mueven a distancias intermedias y que viajan distancias largas). Se define el **tiempo de cruce** como el momento en que las fracciones de átomos inmóviles y de largo alcance son iguales.
- **Resultado Principal:**
 - o El **tiempo de cruce** (el tiempo característico del proceso de difusión) disminuye a medida que aumenta el número de vacancias en el cristal, siguiendo una relación inversamente proporcional.
 - o Al normalizar las curvas de movilidad con este tiempo de cruce, las curvas para diferentes números de vacancias colapsan en una **curva universal** que solo depende de la estructura cristalina.

Extensión de la Mecánica Estadística y Termodinámica

Esta área aborda problemas fundamentales en la definición de la temperatura y la extensión de la mecánica estadística clásica a sistemas más complejos.

- **Equivalente para variables discretas del teorema de variables conjugadas (CVT)**
 - o **Enfoque:** Extender el **Teorema de Variables Conjugadas (CVT)**, originalmente para variables continuas, al caso de **variables discretas** (como los niveles de energía en un sistema cuántico).
 - o **Concepto Central:** Se definen y utilizan las **diferencias finitas** (adelantadas y atrasadas) en lugar de las derivadas. Esto permite reescribir el CVT para variables discretas con términos de contorno.
 - o **Resultado Principal:** A partir de este nuevo marco, se derivan **identidades termodinámicas** para el ensamble canónico que conectan la temperatura con observables medibles. Esto permite obtener el valor de la **temperatura inversa** para sistemas como el de dos niveles, sin la necesidad de calcular la función de partición.
- **Método numérico para determinar la distribución de temperaturas superestadísticas a partir de mediciones de la energía y la densidad de datos**
 - o **Enfoque:** Aplicación de métodos estadísticos a la **superestadística**, una extensión de la mecánica estadística que aplica a ciertos estados estacionarios fuera del equilibrio, donde la temperatura puede fluctuar.
 - o **Concepto Central:** Se utiliza el **Teorema de Bayes** y el principio de **Inferencia Bayesiana** para determinar la **densidad de probabilidad de la temperatura inversa**, que no puede medirse directamente con un histograma.
 - o **Resultado Principal:** Se desarrolla un método numérico para inferir la distribución de la temperatura inversa basándose únicamente en las observaciones de los microestados del sistema y el modelo canónico. Con esta técnica, no es necesario conocer la densidad de estados de energía del sistema.

Otras actividades del centro P²mc

Presentación de trabajos en simposios nacionales

Título	Congreso	Fecha
Versatility of plasma focus devices: Fundamental and Applied Research	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Design and development of a kilojoule plasma focus device for fundamental and applied research	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Optimización de la emisión de rayos-X pulsado de un Plasma Focus de 2kJ para aplicación en biología	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Supersonic Thermal Plasma Expansion Method for nanoparticles synthesis: Fundamentals and Numerical Analysis	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Distancia al equilibrio en super estadística	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Thermodynamics of finite systems via molecular dynamics in generalized ensembles	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Estadística de tiempos de fusión en sólidos sobrecaleidos	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Fragile systems: A hidden-variable Bayesian framework leading to quantum theory	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
El teorema de quipartición cuántico y el estimador-operador de temperatura inversa	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Implementación de medición de corriente por rotación de Faraday para descargas PF de baja energía	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024
Devices to measure the micro impulse generated by a plasma thruster with plasma focus technology	XXIV Simposio Chileno de Física	20-22/11/2024

Presentación de trabajos en conferencias y congresos internacionales

Título	Congreso	Fecha
Preliminary Studies on the Effects of Ultra High Dose Rate Pulsed X-ray In-Vitro Irradiation on Cancer Cells Using a kilojoule Plasma Focus Device	EPS-50 th Conference on Plasma Physics	8-12 julio 2024
Supersonic thermal plasma expansion method for synthesis of lithium-based core shell nanoparticles	CONDENSED MATTER DAYS 2023, India	Enero 2024
Plasma torches for material processing applications: synthesis of lithium base core shell nanoparticles	DST-SERB Sponsored International Conference on Devices, Sensors and Systems (CoDSS) 2024, India	Febrero 2014
“A superstatistical measure of distance from canonical equilibrium”	43 rd MaxEnt, Universidad de Ghent, Ghent, Bélgica	Julio 2024
“Thermodynamics of finite systems via molecular dynamics in generalized ensembles”	43 rd MaxEnt, Universidad de Ghent, Ghent, Bélgica	Julio 2024
“Deep learning prediction of waiting times in non-equilibrium melting”	43 rd MaxEnt, Universidad de Ghent, Ghent, Bélgica	Julio 2024
“Introduction to Plasma Focus Device and Applications”, Leopoldo Soto, expositor invitado	Escuela conjunta del OIEA y el ICTP sobre energía de fusión. Trieste, Italia. Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, ICTP, Italy	6 al 17 de mayo de 2024
“Impulse Measurements in a Pulsed Micro-Energy Propulsion System for Nanosatellites”. LSoto et al.	21 Congreso Internacional de Física de Plasmas (ICPP 2024), Ghent, Bélgica	8 al 13 de septiembre de 2024
“Developing Pulsed Micro Energy Propulsion Systems for Nano Satellite: Attitude Control using Plasma Focus Technology”. C Vázquez et al	50th European Physical Society Conference on Plasma Physics	8-12 Julio 2024

Convenios o contratos en I+D

Institución asociada	Descripción del convenio	Fecha de firma
Universidad de Chile		
Universidad de Concepción		
Instituto de Salud Pública		
Pontificia Universidad Católica de Chile		
Universidad de los Andes		
Universidad del Desarrollo		
Universidad Mayor		
Universidad de Atacama		
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación	Convenio de subsidio ANID para el financiamiento de proyectos de equipamiento científico y tecnológico mayor FONDEQUIP (P-MICE)	02-07-2024

Formación de estudiantes

Nombre estudiante	Programa/Universidad	Actividad	Tutor
Benjamín Gutiérrez	Universidad Adolfo Ibáñez	Pasantía para obtener título (Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Ciencias, UAI)	Jalaj Jain
Constanza Farías Parra	Doctorado en Física, Universidad Andrés Bello	Tesis doctoral	Sergio Davis Irarrázaval (CCHEN)
Viviane Olguín Arias	Magíster en Ciencias con mención en Física, Universidad de Chile	Tesis de magister	Gonzalo Gutiérrez Gallardo (Universidad de Chile), cotutor: Sergio Davis Irarrázabal (CCHEN)
Gustavo Wörner Lillo	Ingeniería Física, Universidad Andrés Bello	Tesis de pregrado	Sergio Davis Irarrázabal (CCHEN)
Abiam Tamburini Cuevas	Doctorado en Ciencias con mención en Física, Universidad de Chile	Tesis doctoral	Pablo Moya Fuentes (Universidad de Chile), cotutor: Sergio Davis Irarrázabal (CCHEN)
Boris Maulén Jara	Tesis doctoral	Tesis doctoral	Daniel Pons (UNAB), cotutor: Sergio Davis Irarrázabal (CCHEN)
Nicolás Villarroel	Doctorado en Ciencias con Mención en Física, Universidad de Chile	Tesis doctoral	Rodrigo López, cotutor
Iván Morales	Ingeniería Física- Universidad Andrés Bello	Tesis de pregrado	Cristian Pavez M.
Camilo Vásquez	Magíster en Ingeniería Universidad Adolfo Ibáñez	Tesis de magister	Felipe Asenjo UAI y Leopoldo Soto CCHEN

CCHEN FÍSICA NUCLEAR Y NEUTRONES

El área de trabajo principal del Centro de Investigación en Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones (CEFNEN) de la CCHEN es en el ámbito de la Física Nuclear Experimental y, desde su experiencia reconocida en técnicas nucleares de vanguardia, tales como espectroscopía gamma, espectroscopía y monitoreo de neutrones y simulaciones Monte Carlo (estacionarias y transientes), el CEFNEN complementa su investigación con estudios fundamentales y aplicados en diversas áreas del conocimiento tales como Estructura Nuclear, Astrofísica Nuclear, Física de Reactores Nucleares, Física de Partículas Elementales, Clima Espacial, Física Espacial, Rayos Cósmicos, Ciencias de la Tierra y Nuevos Materiales.

A partir del estudio de estas áreas del conocimiento, CEFNEN orienta su trabajo hacia las siguientes líneas de investigación: (a) estudio de propiedades fundamentales de núcleos atómicos, (b) estudio de radiación cósmica secundaria, (c) estudio, simulación e implementación de procesos nucleares con dependencia temporal, y (d) estudio de espectroscopía gamma y de neutrones apoyando en investigación fundamental en física de altas energías, ciencias de la Tierra, ciencias de los materiales y salud humana.

Proyecto “Estudios de medición simultánea de espectroscopía de neutrones de rayos cósmicos y variables locales en todo Chile”

Investigador: Francisco Molina

ANID FONDECYT Regular

El proyecto se desenvuelve a lo largo de todo el país y se basa en una muy interesante relación entre la aparición de neutrones de origen cósmico y las propiedades del medioambiente, el suelo y el aire, en un determinado lugar. Al relacionar las variables locales con una medida espectroscópica de neutrones, esperamos diseñar un pequeño espectrómetro compuesto de tres detectores eficientes en la región térmica, epitérmica-rápida y de alta energía, que evidencie estas variaciones locales y pueda corregir las medidas realizadas por los monitores de neutrones.

En 2024, se realizó la quinta **campaña experimental Arica - Tarapacá - Antofagasta**.

- **Fechas:** Desde el 10/11/2024 hasta el 15/11/2024.
- **Lugar:** San Pedro de Atacama.
- **Número de Detectores:** 16.0.
- **Ubicación Geográfica:**
 - Latitud: -22.910832°.
 - Longitud: -68.200138°.
 - Altura: 2426.0 msnm.
- **Rigidez Geomagnética de Corte Vertical:** 10.73 GV.

El proyecto busca conocer el número y espectro de energías de los neutrones detectados – neutrones cuya fuente son los rayos cósmicos que al interactuar con la atmósfera los generan como producto- y variables locales, como la temperatura ambiente, la presión atmosférica, la humedad relativa del aire, la humedad del suelo, la velocidad del viento, la acumulación de nieve e, incluso, la composición del suelo.

Con este estudio se espera realizar correcciones a las medidas que proveen los monitores de neutrones ubicados alrededor del mundo, utilizados para medir indirectamente la incidencia de rayos cósmicos en la atmósfera terrestre y con ello estudiar la actividad solar y un amplio dominio

de fenómenos asociados a las partículas elementales del universo. La evidencia muestra que la tasa de conteo de estos monitores puede verse afectada por las variables locales mencionadas, que implican una disminución de los neutrones de energías menores.

Para efectuar las mediciones se desarrollan diez campañas experimentales, que al terminar habrán abarcado 31 puntos de Arica a Magallanes, para aprovechar la diversidad geográfica, geológica y climatológica de Chile.

Junto al Dr. Molina trabaja, como coinvestigador, el Dr. Marcelo Zambra, también del CEFNEN de la CCHEN. Además, para la ejecución de las campañas experimentales, investigadores de variadas disciplinas, como Meteorología, Física de Altas Energías, Electrónica, Física Médica, Ciencias de Materiales, Gravitación, Física Nuclear Teórica, Astronomía, Física Atómica y Física Nuclear Experimental, de distintas universidades e instituciones del país, apoyarán la fase de mediciones.

Proyecto “Simulaciones Monte Carlo transientes en un reactor nuclear de investigación con la inclusión de precursores de emisión de neutrones beta-retardados y comparación con experimentos dependientes del tiempo en reactores”

Investigador: Jaime Romero

ANID FONDECYT Iniciación

El objetivo de este proyecto es proponer una nueva herramienta a la comunidad científica. En concreto, se trata de un código Monte Carlo capaz de hacer simulaciones transientes -es decir, dependientes del tiempo- de un reactor nuclear, lo que permitirá por primera vez la realización de intercomparaciones entre experimentos de inserción de reactividad en el núcleo del reactor y un código Monte Carlo puro.

En la cadena de fisión del uranio-235 se han identificado más de 270 núcleos que emiten neutrones, luego del proceso de desintegración beta, en tiempos que pueden llegar hasta minutos tras la reacción de fisión. A estos neutrones se les llama neutrones beta-retardados y son fundamentales para controlar un reactor. Antes de continuar, hagamos una pausa para explicar esto último.

En la reacción nuclear de fisión de un neutrón con un núcleo de uranio-235 se producen de 2 a 3 neutrones inmediatos, emitidos en un rango de tiempo del orden de femtosegundos (10-15 segundos) luego de la reacción. Por su parte, los neutrones beta-retardados se producen por desintegración de los núcleos productos de la reacción, en un rango de tiempo que va desde los milisegundos (10-3 segundos) hasta varios minutos luego de la reacción de fisión.

En 2024 se realiza el diseño de Experimentos Transientes a Realizar en el Reactor RECH-1, que busca evaluar la respuesta temporal del flujo neutrónico ante perturbaciones controladas en la reactividad. El propósito es comparar los resultados experimentales con simulaciones Monte Carlo transientes desarrolladas en el marco del proyecto FONDECYT Iniciación.

Descripción de los Experimentos Transientes Propuestos

Los experimentos buscan medir el cambio temporal del flujo neutrónico al introducir perturbaciones controladas en el núcleo:

1. Movimiento controlado de las placas de control: Desplazamiento preciso y programado de las placas para ajustar la reactividad, registrando el tiempo que tarda el sistema en alcanzar un nuevo estado cuasiestacionario.
2. Inserción de un elemento absorbente: Evaluación del cambio transiente mediante la inserción rápida de un material absorbente, posiblemente usando el sistema "rabbit" o un tubo de irradiación

seco.

3. Scram del reactor (detención de emergencia): Medición de la evolución temporal del flujo neutrónico tras la caída abrupta de las placas de control.

Resultados Esperados.

- Obtención de curvas transientes del flujo neutrónico en función del tiempo.
- Validación de las simulaciones Monte Carlo transientes con los datos experimentales.
- Desarrollo de un caso experimental transiente que sirva como referencia (benchmark) para la comunidad científica.

Otras actividades del CEFNEN

Presentación de trabajos en Congresos Nacionales

Título	Congreso	Fecha
CEFNEN Nuclear Physics and Neutron Spectroscopy Activities: 2023 Achievements and 2024 Prospects	SAPHIR Annual Researchers Meeting 2024	17-19 de enero 2024
“Study and implementation of time-dependent processes in Monte Carlo simulations applied to nuclear reactors”	SAPHIR Annual Researchers Meeting 2024	17-19 de enero 2024

Presentación de trabajos en Conferencias y Simposios Internacionales

Título	Congreso	Fecha
“Cosmic Ray Neutron Spectroscopy and Local Variable Measurements Studies Throughout Chile”	XIV Simposio Latinoamericano de Física Nuclear y Aplicaciones, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.	17-21 de junio 2024
“OpenMC(TD): Current status, future plans and experimental benchmarking in Monte Carlo simulations”.	XIV Simposio Latinoamericano de Física Nuclear y Aplicaciones, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.	17-21 de junio 2024
“OpenMC(TD): Current status and next development stages”	Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo (SNA + MC) 2024 en París, Francia	21-24 de octubre 2024
“Cosmic Ray Neutron Spectroscopy and Local Variable Measurements Studies Throughout Chile: Preliminary Results”	Fourth Andean School on Nuclear Physics. Bogotá, Colombia	9-13 de diciembre 2024

Participación Internacional

Evento	Asistente	Fecha

Participación en Test Beam Calorímetro electromagnético con haces de muones, electrones y tauones. Área Norte CERN	Francisco Molina Palacios Jaime Romero Barrientos	02-17 de octubre 2024
--	--	-----------------------

Formación de Estudiantes

Nombre del Estudiante	Programa/Universidad	Actividad	Tutor CCHEN
Franco López	Doctorado en Ciencias Físicas/Universidad Andrés Bello	Tesis doctoral	Francisco Molina
Luis González	Ingeniería Física, Universidad Andrés Bello	Tesis de pregrado	Francisco Molina
Vicente Millar	Ingeniería Física, Universidad Andrés Bello	Práctica II	Francisco Molina
Javier Ruiz	Ingeniería Física/Universidad de Santiago de Chile	Tesis de pregrado	Jaime Romero
Benjamín Rebolledo	Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Chile	Pasantía de Verano SAPHIR	Francisco Molina
Nicolás Faundez	Licenciatura en Física, Pontificia Universidad Católica de Chile	Pasantía de Verano SAPHIR	Jaime Romero
Joel Salinas	Ingeniería Física/Universidad de Santiago de Chile	Práctica profesional	Jaime Romero
Esteban Ibarra	Ingeniería Matemática/ Universidad de Chile	Práctica Profesional	Francisco Molina
Francisco Aguilar	Magíster en Ciencias Físicas/Universidad Federico Santa María	Tesis de magíster	Jaime Romero

CCHEN ECOSISTEMAS, AGRICULTURA Y ALIMENTOS

El Centro de Tecnologías Nucleares en Ecosistemas Vulnerables (CTNEV) se orienta a la investigación de los efectos del cambio climático y de otras acciones antrópicas sobre la adaptabilidad de especies vegetales, la seguridad alimentaria y los procesos de contaminación del medio ambiente. El estudio se enfoca principalmente en la vulnerabilidad de algunos ecosistemas y en cómo mitigar o detener el impacto del cambio climático y de la acción humana. Apoyados en el uso de técnicas nucleares y convencionales, el CTNEV se propone el desarrollo de soluciones que contribuyan a la sostenibilidad de los ecosistemas vulnerables, incluyendo la posibilidad de, con ello, contribuir a un ambiente saludable para la vida humana.

En este marco, las líneas de investigación se relacionan con el estudio del uso eficiente de los recursos en sistemas agroclimáticos, los efectos fisiológicos y genéticos del uso de radiaciones ionizantes en la adaptabilidad de las especies vegetales, la irradiación de productos apícolas (miel, polen y cera) manteniendo sus propiedades para la valorización y sostenibilidad de la apicultura nacional y la evaluación integrada de áreas contaminadas mediante el monitoreo de los elementos abióticos del ecosistema y el estudio de su impacto en la salud pública.

Proyecto CRP Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del impacto radiológico ambiental

Investigadora: Adriana Nario
CRP OIEA

Hito: Definición de cálculo de CR (RC en español) suelo-vegetal

El término “índice de concentración” (CR) se justificó como el sinónimo del término “factor de transferencia” y se ha utilizado en numerosas. El CR caracteriza la transferencia de un radionucleido desde un compartimento ambiental donante (ej. suelo, agua, aire) a un compartimento ambiental receptor (ej. productos vegetales o animales) y, dependiendo de un escenario de contaminación, puede definirse como un coeficiente adimensional o un coeficiente que tiene dimensiones (kg kg^{-1} o L kg^{-1} o L m^{-3}). Las concentraciones de actividad en los compartimentos ambientales pueden variar con el tiempo y, siendo cantidades transitorias dependientes del tiempo.

En el estudio de los riesgos de absorción de contaminantes, y en particular de radionúclidos, hacia los cultivos desde el suelo, se emplean ensayos donde se aplica una cantidad conocida de analito en el suelo de un cultivo, y después de un tiempo determinado, se realiza la remoción de la matriz vegetal para calcular el parámetro de Relación de concentración (CR) (Sheppard et al., 2010), cuyo cálculo queda descrito en la Ecuación 1 (Ogasawara et al., 2019), con tal de determinar cuantitativamente si la planta absorbe el analito a través de las raíces.

$$\text{Relación de concentración}_{\text{suelo-planta}} (RC) = \frac{\text{Concentración de analito en planta} (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})}{\text{Concentración de analito en suelo} (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})} \quad (1)$$

Sin embargo, existen radionúclidos naturales, propios de las propiedades y geología del suelo, donde son cuatro principales: dos isótopos del Urano y el Torio que originan familias radiactivas muy largas y del Potasio que forma parte de la sal del agua marina y de todos los seres vivos. Existiendo material radiactivo en diversas partes de los suelos y ambiente.

Y respecto a los radionúclidos artificiales que se han generado por acción del hombre y diferentes accidentes nucleares ha habido liberaciones de ^{137}Cs y ^{90}Sr los que se adhieren al suelo generando contaminaciones. Así el cálculo de RC permite evaluar los contenidos de radionúclidos que son absorbidos por la planta desde el suelo.

Los valores RC en estado estacionario se utilizan comúnmente para fines de evaluación de impacto ambiental radiológico (REIA) para exposiciones a NORM, contaminación radiactiva heredada y emisiones radiactivas posteriores al funcionamiento rutinario de instalaciones nucleares. Por lo tanto, se supone que las concentraciones de radionucleidos o sus análogos estables en los compartimentos ambientales se encuentran en condiciones de estado estacionario, sin cambios rápidos en sus concentraciones en los compartimentos biológicos o físicos (Howard et al., 2021; Barnett et al., 2009). Por lo tanto, los protocolos experimentales utilizados en el PCI actual también están diseñados para garantizar que se alcance el equilibrio.

Mediciones e Interpretación de Valores de Tasas de Concentración de Radionúclidos

En el hito Definición de cálculo de CR suelo-vegetal, se especificó el cálculo RC en la Ecuación 1 (Ogasawara et al., 2019) para determinar cuantitativamente que proporción del elemento o analito existente en el suelo es absorbido por las raíces de las plantas absorbe a través de las raíces.

$$\text{Relación de concentración}_{\text{suelo-planta}} \quad (RC) = \frac{\text{Concentración de analito en planta (mg}\cdot\text{kg}^{-1})}{\text{Concentración de analito en suelo (mg}\cdot\text{kg}^{-1})} \quad (1)$$

Así, el cálculo de RC permite evaluar los contenidos de radionúclidos que son absorbidos por la planta desde el suelo. A través de este proyecto se han seleccionado áreas de importancia agrícola para realizar muestreos de suelos y de los cultivos existentes en ellos para realizar análisis de los radionúclidos en los suelos y en los cultivos, con el fin de conocer la RC. En la Tabla 1 se muestran los suelos seleccionados para la determinación de RC.

Tabla 1. Muestras de suelo seleccionadas para el estudio (fecha, localidad, georeferenciación y vegetación existente).

Código	Región	Fecha de muestreo	Coordenadas UTM	Altura (msnm)	Cultivo/vegetación existente
CM 1	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	12-05-2022	6262043 N 381509 E	1353	Bosque esclerófilo*
CM 2.1	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	12-05-2022	6261926 N 381355 E	1432	Bosque esclerófilo*
CM 2.2	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	13-05-2022	6262006 N 381388 E	1452	Bosque esclerófilo*
CM 3.1	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	12-05-2022	6261818 N 381227 E	1520	Bosque esclerófilo*
CM 3.2	Cajón del Maipo, Región Metropolitana	13-05-2022	6261984 N 381200 E	1502	Bosque esclerófilo*

RLV	Rinconada de Maipú, Región Metropolitana	28-08-2023	6291445 N 330092 E	477	Cultivo lechuga
P	Rinconada de Maipú, Región Metropolitana	28-08-2023	6422143 N 324920 E	466	Cultivo Brócoli
M	Rinconada de Maipú, Región Metropolitana	28-08-2023	6402056 N 328481 E	445	Cultivo Apio
C	Chiu-Chiu	18-08-2022	7529147 N 536450 E	2547	Cultivo Zanahoria

*Bosque esclerófilo: principalmente se compone de boldo (*Peumus boldus*), peumo (*Cryptocarya alba*), molle (*Schinus latifolius*), litre (*Lithraea caustica*), quillay (*Quillaja saponaria*), maitén (*Maytenus boaria*), Belloto del norte (*Beilschmiedia miersii*), espinillo (*Acacia caven*)

Como ejemplo, para estimar las concentraciones de Cs en los suelos del Cajón del Maipo (CM) que no tenían cultivos agrícolas, se realizó un estudio con la aplicación de soluciones ¹³³Cs concentradas, para tener cationes de cesio disponibles para la planta en la solución suelo. Para ello, se sembró la semilla de tomate microtom, y 120 días después de la siembra se realizó el destructivo para su procesamiento y finalmente el cálculo de RC (Tabla 2).

Tabla 2. Masa fresca, seca y valores de RC para cada planta y suelo.

Suelo	Masa fresca (g)	Masa seca (g)	RC	SD	CV
CM1 (1)	3,38	0,58			
CM1(2)	1,82	0,30	0,12	0,000	0,0
CM1 (3)	1,52	0,23			
CM2.1 (1)	2,92	0,43			
CM2.1 (2)	1,21	0,19	0,21	0,026	12,1
CM2.1 (3)	1,99	0,34			
CM3.1 (1)	8,34	0,99			
CM3.1 (2)	4,66	1,12	0,31	0,07	23,1
CM3.1 (3)	6,81	1,04			

El suelo CM1 presentó el menor valor de RC, significando una menor absorción de ¹³³Cs por las plantas desde el suelo (parte del desarrollo de la tesis de pregrado Química Ambiental Sra Poulette Blanc M. (Universidad de Chile).

Para la determinación de radionúclidos naturales se utilizó la cuantificación en un detector de germanio, donde se determinaron los radionúclidos naturales en las muestras de suelo agrícolas y de las fracciones de los cultivos producidos en ellos.

Las concentraciones de actividad (Bq/kg MS) están referidas en masa seca y a la fecha de recolección de la muestra < LD: menor al límite de detección. Se observa una preponderante transferencia del ⁴⁰K dado que estos suelos son fertilizados, por otro lado, se destaca la presencia de ²¹⁴Pb y ²²⁸Ac.

Esta tabla se continuará completando con la detección de radionúclidos de vegetales que están en proceso.

Además, se tiene en proceso de análisis de muestras vegetales y de suelo de ensayo de cultivo de lechuga en tres suelos agrícolas (M, P, RLV) (Figura 1) con la aplicación de dos dosis de fertilizantes N-P-K y de ^{133}Cs para ver si hay respuesta en la absorción y desorción del ^{133}Cs del suelo, y su transferencia al cultivo.



Figura 1. Ensayo de cultivo lechuga sobre tres suelos agrícolas de la zona semiárida de Chile.

Presentación de avance propuesta de tesista pregrado: Impacto de los factores abióticos en la absorción de núclidos desde el suelo a la planta

Los factores abióticos como el pH del suelo, la humedad, la clase textural, la materia orgánica del suelo y los cationes presentes influyen significativamente en la absorción de núclidos por las plantas a través de las raíces y su adsorción a las partículas de suelo.

Después del accidente de Chernóbil se analizó intensamente la movilidad de los radionúclidos Cesio (^{137}Cs) y Estroncio (^{90}Sr) en los suelos, agua y vegetales. En particular, el ^{90}Sr se depositó rápidamente en la superficie del suelo en forma de aerosoles condensados, mientras que las partículas de UO_2 combustible eran más estables después de la lluvia radiactiva de Chernóbil.

pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Materia Orgánica (MO)

El pH del suelo afecta la solubilidad de los núclidos, y, por tanto, la forma en que se encontrarán en el suelo. Así, en suelos ácidos, los radionúclidos como ^{137}Cs y ^{90}Sr se vuelven más solubles quedando biodisponibles para las plantas. Por otro lado, en suelos alcalinos, los núclidos pueden precipitar (como hidróxidos o carbonatos) reduciendo su disponibilidad de absorción. En cuanto a las partículas de suelo, la adsorción de Sr aumenta a medida que se incrementa el pH (Khani et al., 2012; Wallace et al., 2012). Después del accidente de Chernóbil, el radioestroncio fue ampliamente estudiado, dentro de la información obtenida se encuentra que la mayoría de las partículas de UO_2 combustible que contenían radioestroncio se disolvieron en suelos con pH bajo, mientras que las condiciones de pH alto retrasaron la disolución de las partículas durante décadas (Noordijk et al.,

1992; Nisbet & Shaw, 1994; Choi et al., 1998; Salbu et al., 2001; Von Fircks et al., 2002; Kashparov et al., 2004; Choi et al., 2011, IAEA 2006, Al Attar et al, 2016).

Las características del suelo, incluido el contenido de materia orgánica, afectan la absorción de Sr al alterar el pH y por tanto, la CIC ya que medida que el pH disminuye, más sitios de intercambio catiónico se unen a los hidronios, disminuyendo la capacidad de intercambio catiónico (Helling et al., 1964). Los procesos de sorción-desorción de ⁹⁰Sr en suelos pueden verse afectados por múltiples factores como el tamaño, la mineralogía, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido orgánico (en diferentes sustratos variando entre 10 a 86% de materia orgánica) (Boyer et al., 2018). La materia orgánica del suelo puede unirse a núclidos y formar complejos, lo que reduce su biodisponibilidad. Sin embargo, algunos compuestos orgánicos pueden aumentar la movilidad de ciertos núclidos al formar quelatos que las plantas absorben más fácilmente.

Textura del Suelo

La textura del suelo depende de la proporción de arena, limo y arcilla, la cual influye en la retención de agua y nutrientes. Los suelos arcillosos tienen una alta CIC, lo que les permite retener más núclidos, dificultando su absorción por las raíces de las plantas. Por el contrario, los suelos arenosos tienden a tener menor retención, permitiendo que los núclidos se filtren fácilmente. El contenido de agua en el suelo influye directamente en la movilidad de los núclidos. En suelos secos, la movilidad iónica es limitada, lo que reduce la absorción de los núclidos por las plantas. En suelos con mayor humedad, los núclidos se disuelven mejor y se mueven hacia las raíces de las plantas, facilitando su absorción. En estudios, se ha observado un aumento de la velocidad de migración vertical de ⁹⁰Sr con el aumento de la humedad del suelo. Se encontró que cuando el contenido de humedad del suelo aumentó del 30 al 100% de la capacidad de campo del suelo, la movilidad de ⁹⁰Sr y ¹³⁷Cs en los suelos minerales (alto contenido de arena (>80%), bajo contenido de materia orgánica (0.5-1.9), pH (4.0-5.5)) aumentó de 1,5 a 3 veces y en los suelos de turba en aproximadamente 20 veces (Loschilov et al., 1991, citado en Askbrant et al., 1996) debido al alto flujo mísico de estroncio en la fase líquida con valores de 0,65 cm y-1 en suelo seco y 1,30 cm y-1 en suelo húmedo (Arapis et al., 1997). En consecuencia, se encontró una alta absorción de estroncio en Ipomoea batatas, mientras que la reducción de la humedad del suelo resultó en una baja absorción de Sr 90 en las plantas (Wang et al., 2000). Por otro lado, se encontró una mayor absorción de Sr-90 por parte de las gramíneas en suelos con bajo contenido de humedad (Ehlken y Kirchner, 1996).

Los suelos orgánicos con alto contenido de humus, como turba y chernozem, tienen un pH alto, una alta capacidad de intercambio catiónico CIC, una baja transferencia de radioestroncio y estroncio estable a las plantas (Van Bergeijk et al., 1992; Veresoglou et al., 1995a; Korobova et al., 1998; Tyler & Olsson, 2001; Tsialtas et al., 2003; Sysoeva et al., 2005; Savinkov et al., 2007). Los compuestos húmicos de estroncio se disocian con la lluvia, lo que da como resultado una mayor migración descendente de Sr-90 con una velocidad de 1 cm año-1. El bajo contenido de humus conduce a una alta absorción de Sr-90 de los suelos con reacción ácida (suelos podzólicos; Sysoeva et al., 2005; podzol; Vidal et al., 2001). En el horizonte superior de suelos salinos con reacción neutra o alcalina, el Sr-90 está inmovilizado por la costra de sal (Dubchak, 2017).

La distribución sólido-líquido del suelo y los mecanismos de absorción de raíces son esenciales para comprender la transferencia de Sr suelo-planta. La compleja interacción de estos factores resalta la intrincada dinámica de la absorción, el transporte y la remediación del Sr en el medio ambiente (Burger & Lichtensteidl, 2019b).

Comportamiento de Sr en presencia de Ca, Mg y otros elementos

Como análogo químico, el Sr comparte similitudes en sus mecanismos de absorción con el Ca, lo que lo hace ser fácilmente absorbido por las plantas del suelo contaminado (Guiserix et al., 2022; Kivan et al., 2024). Este proceso introduce un isótopo radiactivo en la cadena alimentaria, lo que genera preocupación sobre su posible impacto tanto en la vida vegetal como animal (Pasumpon et al., 2023; Seixas & Pierce, 2005). Además, el ⁹⁰Sr tiende a acumularse en los huesos, imitando al Ca y potencialmente causando problemas de salud a largo plazo en los organismos que se encuentran en niveles superiores de la cadena alimentaria, incluidos los humanos (Gupta et al., 2018; Marx et al., 2020; Pavlenko et al., 2024; Querido et al., 2016). En suelos que contienen carbonato de calcio, el Sr puede precipitar, formando a menudo estroncianita (SrCO₃), lo que reduce su movilidad (Kondo et al., 2021; Smičíkla et al., 2015). Sr sigue los patrones generales de circulación de las soluciones del suelo en su distribución en los perfiles del suelo. En consecuencia, el Sr puede acumularse en horizontes superiores de suelos calcáreos, mientras que en suelos ácidos tiende a lixiviarse a lo largo del perfil (Drouet et al., 2007; Frei et al., 2020; Timofeeva et al., 2024).

Los procesos fisiológicos debido a su similitud química con el calcio gobiernan principalmente la absorción de Sr por parte de la planta. Sr y Ca, ambos miembros de los metales alcalinotérreos del Grupo II, comparten características similares debido a sus cargas y radios iónicos similares (Jovanović et al., 2021; Novak et al., 2020; Rosen et al., 2006). El Ca puede aliviar el estrés inducido por el Sr y, a su vez, el Sr puede sustituir parcialmente al Ca para aliviar la deficiencia de Ca, particularmente durante el crecimiento de las plantas. El suministro simultáneo de Sr y Ca puede mejorar el crecimiento de las plantas (Cheng et al., 2022; Singh et al., 2023). El Sr asume funciones metabólicas similares al Ca, incluido el mantenimiento de la actividad enzimática en aproximadamente el 40% de la tasa normal. Parece que el Sr tiene menor movilidad en el medio ambiente en comparación con el Ca; su absorción se puede desactivar agregando una alta concentración de Ca. No es solo la concentración de Ca la que determina la absorción de Sr sino también el tipo de especie de planta (Burger & Lichtenheld, 2019b).

Estudios realizados en suelos orgánicos e inorgánicos naturales con alto contenido de calcio demostraron que el estroncio estable se absorbe en cantidades similares (Drouet & Herbauts, 2008; Chu et al., 2015) o en cantidades menores (Tsialtas et al., 2003). Al aumentar el pH (en un rango de 5.2-7.8) en el suelo orgánico mediante la adición de CaCO₃ se conduce a una absorción preferencial de calcio por las plantas, mientras que la absorción de estroncio y radioestroncio estables disminuye. (Evans & Dekker, 1962a; Andersen, 1973; Roca & Vallejo, 1995; Veresoglou et al., 1996; Tyler y Olsson, 2001); El bajo contenido de calcio aumenta la transferencia de estroncio y radioestroncio estables en suelos orgánicos con alto pH (i.e 8) (Milbourn et al., 1959; Savinkov et al., 2007; El-Shazly et al., 2016), así como con pH bajo (i.e 4) (Evans & Dekker, 1962a; Roca & Vallejo, 1995; Sauras Yera et al., 1999); Por otro lado, en suelos inorgánicos, la adición de calcio aumentó el pH y, como resultado, se redujo la transferencia de estroncio y radioestroncio estables (Fowler & Christenson, 1959; Lembrechts et al., 1990; Veresoglou et al., 1995b; Wang et al., 2000; Tsialtas et al., 2003; Dasch et al., 2006), mientras que la absorción de calcio aumentó (Elewa & Naguib, 1986). La baja cantidad de calcio y el pH neutro en el suelo inorgánico condujeron a una alta absorción de Sr-90 en las plantas (Fresquez et al., 1998).

Así mismo, otros autores (Skupiński & Solecki, 2014) indican que la sorción de Sr²⁺ puede verse incrementada por cationes fosfatos según el tipo de suelo, en un rango de pH 3-10 ya que los cationes H⁺ desempeñan el rol de control más significativo de la sorción de Sr²⁺ (en presencia y ausencia de fosfato) y que las isotermas se pueden describir mediante la ecuación de Freundlich.

La adsorción y liberación de estroncio y radioestroncio al suelo depende también de la presencia de otros iones debido a la competencia por los sitios de intercambio y, por lo tanto, influye en la absorción de estroncio por parte de las plantas. El reemplazo habitual de cationes en el suelo es: litio < sodio < potasio < amonio < rubidio < cesio < hidrógeno < magnesio < calcio < estroncio < bario < hierro < aluminio < lantano (Baratta, 1994). A continuación, resumimos los resultados de experimentos en los que la movilidad del estroncio se vio influenciada por otros iones y se midió la absorción en las plantas.

Nota: La información base recopilada en este Hito ha sido desarrollada en conjunto por la memorista de la carrera de Química Ambiental (UCH), Srta. Michelle Campusano.

Programa de Trabajo Propuesto para 2025 en el CRP.

- Realizar una nueva temporada de experimentos en macetas con lechuga en los mismos tres suelos, pero en un invernadero.
- Continuar con el protocolo de muestreo de suelo y planta.
- Realizar la comparación de la preparación de plantas para mediciones (secado en horno vs. ceniza vs. nitrógeno líquido).
- Continuar con las mediciones analíticas isotópicas (oligoelementos y radionúclidos) en suelo y planta.

Proyecto Uso de isótopos estables (133Cs y 88Sr) como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de los radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura
Investigadora: Adriana Nario

Ajustes en la determinación de curvas de extracción de 88Sr en suelos para determinación Kd en suelos agrícolas.

De acuerdo con lo expuesto en el hito presentado en septiembre 2023, se concluyó que se debe evaluar otra metodología de extracción de 88Sr del suelo para que se obtenga una curva real ya que la presencia natural de 88Sr podría estar interfiriendo para usar la misma metodología de cálculo empleada para el elemento 133Cs. Sin embargo, se decidió realizar una determinación de kd adicional para 88Sr. Las concentraciones de 88Sr utilizadas para las 9 muestras de suelo fueron 0, 25, 50, 100, 200 y 500 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Así, a $2,5 \pm 0,05$ gramos de suelos (base peso seco) masados en tubo plásticos 50 mL (tipo Falcon para centrífuga) se le adicionó la concentración de 88Sr en solución (curva completa) y se agitó (en vortex) para homogeneizar la solución con el suelo.

Posteriormente se somete a agitación por 5 días en agitador horizontal para asegurar intercambio de la solución con las diferentes partículas del suelo. Luego, la muestra es centrifugada para separar el sobrenadante del suelo. Se remueve todo el sobrenadante y se vierte en un envase de borosilicato (20 mL volumen). De este sobrenadante se toma una alícuota para su preparación y posterior lectura en ICP-MS y determinación de 88Sr en la solución.

Esta etapa está en proceso en los laboratorios del Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos. Con estos datos se determinará la nueva curva de adsorción y determinación de k_d . Para poder evaluar los factores o parámetros que inciden en el cálculo de k_d y el comportamiento de Sr en estos suelos y su potencial capacidad de transferencia desde el suelo hacia el cultivo, se propone desarrollar un seminario de título “Determinación de las isotermas de adsorción de ^{88}Sr en suelos chilenos” por parte de la Srta. Michelle Campusano para la obtención del título de Química Ambiental de la Universidad de Chile (período Octubre – Diciembre 2024).

Nota: La información general mostrada en este Hito ha sido desarrollada por la Química Ambiental Srta Poulette Blanc M.

Determinación del factor de transferencia de ^{133}Cs desde el suelo a cultivo de lechuga.

De acuerdo con los valores de K_d obtenidos para ^{133}Cs , se construyó una curva equilibrio tipo para aplicar un exceso de ^{133}Cs en un 30% de la solución determinada en suelos, y así asegurar la disponibilidad de ^{133}Cs en la solución del suelo para la planta, y se determinó el volumen de solución a aplicar en 1 litro de cada suelo según capacidad de campo. Debido a la cantidad de suelo necesario para realizar los experimentos en maceta y sus repeticiones, finalmente solo se utilizó suelo de las Series Maipo, Mapocho y Rinconada (Tabla 1).

Tabla 1. Masa de suelo (g), concentraciones de equilibrio de ^{133}Cs (30% de exceso de ^{133}Cs) aplicadas a 3 suelos.

Code	Soil Mass (g)	$^{133}\text{Cs equilib (mg·l}^{-1}\text{)}$	30% excess
Maipo	7200	21.5	28.5
Mapocho	7920	23.37	30.0
Rinconada Lo Vial	8340	25.66	33.0

En la Tabla 2 se muestran los promedios de masa fresca del cultivo de acuerdo con cada tratamiento. Se debe considerar que el porcentaje de humedad corresponde a casi el 80% del cultivo.

Tabla 2. Promedios de masa fresca total (g) según cada tipo de tratamiento, serie Rinconada Lo Vial, Mapocho, Maipo

Lo Vial	Mapocho	Maipo

Control	25,73	60,18	11,03
Control + ¹³³ Cs	32,62	55,63	12,15
Simple	70,12	54,77	40,98
Simple + ¹³³ Cs	81,84	60,68	36,02
Doble	86,28	72,38	47,62
Doble + ¹³³ Cs	88,85	82,82	44,85

Después de la preparación de muestras que consiste en secado, molienda y homogeneización se procede a realizar una extracción en microondas CEM Mars x5. El sobrenadante es extraído de la solución y cuantificado el ¹³³Cs en el ICP MS Agilent.

Resultados potenciales parciales de la determinación de factor de transferencia (o tasa de concentración (CR) de ¹³³Cs desde el suelo al cultivo se muestran en la Tabla 3.

Pot	CR	Mean	SD
Mapo	0.0005281		
Mapo	0.0006067	0.00056	0.000055
Mapo	0.0009519		
Maipo	0.0005288	0.00074	0.00029
Maipo	0.0003692		
Maipo	0.0014769	0.00092	0.00078
Lo Vial	0.0182391		
Lo Vial	0.0175000	0.016	0.0041

Lo Vial	0.0198478
Lo Vial	0.0105870

Estos datos deben ser revisados ya que las cantidades de masa seca obtenidas han sido unidas en sus repeticiones para poder obtener mínimos a utilizar en la digestión.

Análisis comparativo de metodologías de preparación de muestras vegetales (deshidratación, cenizas y liofilizado) y suelos (cenizas) para la determinación de ^{133}Cs en muestras vegetales y de suelo.

Para la realización de la actividad es necesario contar con una cantidad de muestra vegetal suficiente para que se pueda generar la preparación de muestras en términos de materia seca.

En este sentido y dado que el hito es para este año se propone realizar una búsqueda bibliográfica de las experiencias que se han llevado a cabo en otras instituciones de investigación en el área a nivel nacional e internacional. Servirá como información base que la tarea sea llevada de manera conjunta con el apoyo de estudiantes y/o profesionales técnicos que puedan ser parte del CTNEV. Al momento de preparar las muestras, ya sea suelo o vegetal, es importante considerar la representatividad de la muestra, es así, como es en la determinación de los radionúclidos, ya sea naturales o generado por acción antrópica.

En el caso de los radionúclidos, la presencia de ellos estará singularizada por varios parámetros, como son el evento o no asociado, ubicación de la muestra, orígenes, factores climáticos, de meteorización, erosión, etc.

Previo a la determinación y cuantificación de los radionúclidos, las muestras pueden ser sometidas a varios procesos, siendo los primordiales el masado, secado, molienda, homogeneización. Sin embargo, en ocasiones la escasa cantidad de muestra disponible requiere concentrar las mismas, o someterlas a distintos tratamientos para detectar los elementos y sus concentraciones. Algunas de estos son:

Digestión por microondas:

El mejor método para extraer radionucleidos antropogénicos y naturales de las matrices suelo y sedimento es la digestión por microondas porque los elementos se lixivian totalmente en solución y este método reduce el tiempo de preparación y el volumen de los ácidos utilizados.

Para la medición simultánea de radionucleidos antropogénicos y naturales, este trabajo confirma la literatura para utilizar un método de disolución total por microondas.

Diferentes estudios han logrado determinar los factores de transferencia del Cs desde el suelo hacia la planta, las fracciones comestibles, como también evaluar el efecto de la concentración de cesio (Cs) en la germinación de semillas, el crecimiento de las plántulas, la absorción de las raíces y la absorción de las hojas de *Lactuca sativa* para comprender la posible transferencia del metal del suelo contaminado a los humanos a través de la cadena alimentaria.

Otro también estudios de los efectos de la inoculación con cepas de *Bacillus* y *Azospirillum* sobre el crecimiento y la acumulación de cesio de cinco especies de plantas cultivadas en suelos enriquecidos con cesio, para su posible uso en la remediación con cesio.

Y todos ellos se han basado en tomar las muestras, ya sea de brotes, hojas, frutos, raíces, lavarlas cuidadosamente para garantizar la eliminación de las partículas de suelo adheridas. Luego, secar en horno a 65 °C durante tres días, y masar su peso seco, moler hasta polvo

fino y homogéneo. Y someter a digestión con 2 mL de ácido nítrico en un sistema de microondas y luego filtradas a través de papel de filtro Whatman. Los filtrados resultantes se diluyen con ácido nítrico al 5 % y el contenido de Cs se determina mediante ICP-MS.

Pretratamiento de incineración o transformación en cenizas

Puede ser necesario incinerar las muestras como parte del procesamiento radioquímico para las mediciones o cuando la concentración de actividad de un radionucleido objetivo en un cultivo es demasiado pequeña para medirse con buena precisión. En el último caso, la incineración permite aumentar la concentración de actividad del material investigado al reducir el volumen de muestras de cultivos con alto contenido de agua (por ejemplo, hortalizas y cereales).

Para determinar qué cantidad Cuando se prevé la incineración en el procesamiento de laboratorio, entonces se debe considerar el contenido de cenizas de varios tipos de plantas alimenticias al decidir la cantidad de cultivo necesaria para una sola muestra. Vale la pena considerar el equilibrio ideal entre temperaturas y tiempo para la incineración y garantizar pérdidas mínimas de radionucleidos volátiles (por ejemplo, ^{210}Pb y ^{137}Cs).

Así, si la incineración seca se realiza en un horno de mufla, el volumen de la cámara del horno es importante, soportando altos grados Celsius.

Estudios como el desarrollado por Rosen et al. (2006) utilizando al estroncio (Sr) como análogo de Ca para evaluar los procesos de transporte y distribución de Ca en plantas, se aplicó Sr a nivel foliar y en frutos como trazador del transporte de Ca. Las muestras se sometieron a calcinación o cenizas y se pudo observar que las aplicaciones foliares de Sr permiten determinar la reacción y sinergias con el Ca.

Muestras liofilizadas

Si bien no mucha información se ha encontrado en esta área, hay algunos estudios en Irán en los que se usó la técnica de liofilizar o secar en frío alimentos como carne de ave y vacuno, luego moler y determinar radionúclidos en estas muestras.

En el caso de la preparación de la fuente, la liofilización al vacío consiste en la deshidratación de la gota radiactiva mediante sublimación. Existen aparatos comerciales que permiten acelerar el proceso de secado. Las operaciones durante el proceso de liofilización son simples. El primer paso consiste en un período de preenfriamiento que dura unos minutos; las gotas radiactivas se enfrián por convección con el condensador de hielo que tiene una temperatura de referencia igual a -85°C . Pasado este período se pone en marcha la bomba de vacío (dependiendo de sus masas, algunas fuentes ya pueden estar congeladas). Una vez solidificadas, las gotas radiactivas se deshidratan al vacío mediante sublimación. El proceso de liofilización se puede considerar finalizado después de 30 min; la presión en el interior del liofilizador alcanza un valor límite igual a 5 Pa. La presión atmosférica se restablece introduciendo aire seco para evitar la condensación del vapor de agua en las fuentes. Así ha sido descrito en alguna bibliografía sin embargo hay mucho que corroborar aún en cuanto a que cantidades de material inicial se necesitaría para poder concentrar la muestra.

Conclusión preliminar:

La información que se encuentra es relativa a los resultados de mediciones de radionúclidos más que el procedimiento específico utilizado para concentrar la muestra, sin embargo, una metodología muy utilizada es la digestión por microondas. Encontrar información específica de la metodología de secado o deshidratación pensando en un procedimiento alternativo como sería usar la

transformación a cenizas, liofilizar, o porque no utilizar el nitrógeno líquido como medio de secado genera un interés por probar los sistemas para evaluar.

Proyecto Piloto RLA 5089: Evaluación de los efectos de los metales pesados y otros contaminantes en los suelos contaminados por actividades de origen antropogénico y natural".

Investigadora: Ana Valdés. Representante a nivel Latino Americano del Programa Arcal (RLA 5089) ARCAL OIEA

El proyecto aborda la problemática de la contaminación de suelos en Latinoamérica, específicamente por metales pesados y otros contaminantes, a través del fortalecimiento de capacidades técnicas y la realización de muestreos en terreno.

Tomas de Muestras de Suelos.

- **Investigadora:** Ana Valdés Durán.
- **Fechas de Muestreo en Terreno:** 8 al 16 de octubre de 2024.
- **Contexto General:** Se constata que la regulación de suelos contaminados es escasa en la región, siendo fundamental la implementación de metodologías adecuadas de toma de muestras y análisis físico-químicos posteriores para preservar los suelos y avanzar en la mitigación de la contaminación.
- **Metodología de Muestreo:**
 - **Tipos de Muestreo:** El estudio corresponde a un **Muestreo de Detalle y Muestreo de Nivel de Fondo**.
 - **Estrategia:** Se utilizó un **Muestreo probabilístico de tipo cuadrícula sistemática** para delimitar la extensión de la contaminación y definir gradientes de concentración.
 - **Área de Estudio:** 3.600 km² en la **Región de O'Higgins**, con puntos de muestreo ubicados entre las ciudades de Rancagua y Santa Cruz. La densidad de muestreo se ajustó a zonas urbanas y rurales.
 - **Profundidad:** Las muestras fueron colectadas hasta una profundidad de **40 cm** y divididas en 6 submuestras para analizar distintas profundidades en cada punto.
 - **Equipo:** Se empleó un muestreador de tubo dividido **Royal Eijkelkamp (Barreno)**.
- **Resultados de Terreno (Puntos Muestreados Destacados):** El informe presenta resultados preliminares y observaciones de 36 puntos de muestreo, detallando:

Punto N°	Nombre del Punto/Lugar	Fecha de Muestra	Observaciones Relevantes del Suelo/Uso Anterior
3	Coltaumo	15/10/2024	Alto contenido de raíces y rocas. Presencia de trozos de ladrillos (contenido antrópico).
4	Plantación de almendras (antiguo campo de nogales)	15/10/2024	Muestra homogénea, suelo húmedo, color café. Trozo de carbón encontrado.

11	Fundo Don Coto (Pedregal)	14/10/2024	Bolones de 20x10 cm a 1mx1m, composición polimíctica.
12	El Huaqui, Fundo El Huaqui (plantación de cerezo)	14/10/2024	Textura gredosa húmeda, color oscuro.
22B	María Cantillana (plantación de maíz)	12/10/2024	Suelo limo-arcilloso. Muestra tomada tras un intento fallido en el punto 22.
29	Tambo Parcela 158	11/10/2024	Bajo parrón. Suelo con abundante materia orgánica, seccionado de 5 en 5 cm.
31	Viña Caliterra	10/10/2024	Materia orgánica en los primeros 5 cm. Cambio de textura a arenosa a partir de 10-15 cm.
37	A 100 mt de Viña Ventisqueros (en viñedos)	10/10/2024	Suelo blando, con materia orgánica en primeros 5 cm. Textura más arenosa y colores ferruginosos a partir de 18 cm. Al pie de cordón montañoso.
41B	Rivera Norte del Río Tinguiririca (antigua siembra de alfalfa)	11/10/2024	Composición predominante de arena en los primeros 5 cm. Terreno afectado por desborde del río Tinguiririca en agosto de 2023.

Participación en "Curso Regional de Capacitación sobre la Determinación de Metales Pesados y Mercurio en Suelos Contaminados", llevado a cabo en el marco del Proyecto RLA 5089.

- **Título del Proyecto/Curso:** "Determinación de metales pesados en suelos contaminados y Mercurio en Suelos Contaminados".
- **Fechas de Realización:** 17 al 21 de junio de 2024.
- **Lugar:** Santa Marta, Colombia.
- **Institución Organizadora:** Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR.
- **Países Participantes:** Colombia, Chile, Argentina, Bolivia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guatemala, Jamaica, Panamá, Perú, Nicaragua, Belice.
- **Objetivos del Curso:**
 - Entrenar al personal en el análisis de metales en suelos por **Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA)** – Llama y Horno de Grafito.
 - Estandarizar criterios regionales para la validación/confirmación y aseguramiento de la calidad analítica.

- Identificar debilidades de los laboratorios participantes.
- **Técnica Analítica Central:** Espectroscopía de absorción atómica de llama y horno de grafito.
- **Actividades Principales:**
 - Presentaciones teóricas y prácticas sobre la EAA (principios, técnicas, mantenimiento y calibración).
 - Actividades prácticas de digestión de muestras (abierta y microondas) bajo normativas del laboratorio acreditado LABCAM.
 - Medición de metales con Absorción Atómica y procedimiento estandarizado.
 - Clase sobre **Aseguramiento de la Calidad Analítica** (validación de métodos, evaluación de figuras de mérito y fuentes de incertidumbre).
- **Aportes al DRTEC y CCHEN:** El curso fortaleció las capacidades técnicas y actualizó conocimientos en buenas prácticas para el análisis de suelos, mejorando la precisión y confiabilidad de los datos. Además, fue crucial para el desarrollo de competencias y el establecimiento de **redes de colaboración** entre países de la región para el intercambio de conocimientos y la gestión ambiental conjunta.

Asistencia a cursos de entrenamiento regional:

- Francisco Aguero, profesional CCHEN (Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos (DrTEC)), participa del Curso Regional de Entrenamiento "Análisis de Metales Pesados mediante Análisis por Activación Neutrónica". 8-12 de mayo, 2023. International Centre for Environmental and Nuclear Science (ICENS), Kingston, Jamaica.
- Javiera Salgado, estudiante memorista Universidad de Chile, participa en el Cuso Regional de Entrenamiento "Análisis de Metales Pesados con Fluorescencia de Rayos X". 4-8 de septiembre, 2023, México.
- Josefa Cutipa, profesional CCHEN (DrTEC) participa en el Curso Regional por Espectroscopía de Absorción Atómica – Llama y horno de grafito. 18-21 de junio, 2024, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Santa Marta, Colombia.
- Josefa Cutipa, Profesional de DrTEC participa en el Curso Regional por análisis de mercurio en suelos por el sistema de análisis directo de mercurio DMA-80. 24-28 de junio, 2024, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Santa Marta, Colombia.
- Patricia Gaete, profesional de DrTEC, participa en la Capacitación sobre Determinación de Metales Pesados en Suelos Contaminados mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). 9-13 de septiembre, 2024, Belo Horizonte, Brasil.

Ronda de intercomparación de laboratorios:

- Macarena Meneses, participa del primer ensayo de aptitud PTNATIAEA-21. Los resultados obtenidos están dentro de los resultados del Organismo.

Generación de guías y manuales de preparación y toma de muestras de suelos:

Se confecciona y actualiza la Guía de Preparación y Toma de Muestras de Suelos Potencialmente Contaminados.

Memorias de títulos:

- **Salgado J. 2023.** Análisis geoquímico de suelos urbanos de la Región Metropolitana. Seminario de título para optar al título de Químico Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- **Garrido, D. 2023.** Extracción secuencial de metales y metaloides en suelos de la región de O'Higgins. Una contribución al estudio de la disponibilidad de contaminantes. Seminario de título para optar al título profesional de Químico Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

Asistencia a reuniones:

- Reunión y Exposición sobre Proyecto Piloto “Suelos Potencialmente Contaminados” Reunión y charla virtual, realizada en el marco del proyecto ARCAL, RLA5089, sobre suelos potencialmente contaminados por metales y metaloides. 20 de noviembre de 2024.

Proyecto “Uso de radiación técnicas para mejoramiento genético”

Investigador: Daniel Villegas

OIEA cooperación técnica

Determinación de protocolo de aclimatación de plantas de *Nolana intonsa* a partir de población M1V3

Se genera el protocolo de aclimatación de plantas de *Nolana intonsa* obtenidas de explantes que fueron irradiados (DL50) y sometidos a sucesivos procesos de réplica y multiplicación hasta alcanzar la población M1V3. El trabajo se realizó en colaboración con la Escuela de Agronomía de la PUCV y la empresa Tarpuy.

Lavado inicial (pretratamiento)

Explantes a usar: Brotes herbáceos de 2 a 3 cm.

Pretratamiento: Lavar los brotes con agua corriente y jabón líquido antibacteriano para eliminar restos de sustrato y tejido muerto.

Desinfección con solución fungicida: Sumergir los brotes en una solución fungicida (20 g/L Captan + 10 g/L Aliette) durante 30 minutos. Mantener en agitación constante con un "shaker" y, al finalizar, llevar a cámara de flujo, eliminar la solución y lavar con agua estéril.

Lavado de esterilización

Este procedimiento se realiza dentro de la cámara de flujo en frascos estériles.

- **Lavado con etanol:** Lavar los explantes por 10 segundos con una solución de etanol al 70%, manteniendo la agitación.
- **Lavado con solución de cloro (hipoclorito de sodio):** Eliminar el etanol y añadir solución de cloro comercial al 10% + 1 mL/L de Tween20. Lavar por 20 minutos con agitación, luego eliminar la solución y enjuagar con agua estéril.
- **Enjuague:** Realizar 3 enjuagues secuenciales de 5 minutos cada uno con agua estéril para eliminar los restos de la solución de cloro.

Cutting y crecimiento del explante iniciado

Corte y adecuación: Tras el lavado, se elimina todo el tejido dañado. Se renueva el corte en la base del explante y se coloca individualmente en tubos con medio de cultivo.

Medio de cultivo: Utilizar medio DKW, suplementado con 1,0 mg/L de BAP; 30 g/L sacarosa; 7 g/L agar; pH 5,8.

Cámara de crecimiento: Mantener los tubos a 23°C a 25°C y 16 horas de luz.

Eliminación de contaminación: Realizar un chequeo a los 7 a 10 días, eliminando los explantes que presenten desarrollo de contaminación microbiana.

Repique

- **Desarrollo:** Los primeros brotes laterales aparecerán luego de 2 a 3 semanas. Despues de 5 semanas, estos brotes estarán lo suficientemente desarrollados para el repique a medio fresco.
- **Procedimiento:** A las 5 semanas, se debe repicar a medio fresco, separando todos los brotes laterales regenerados. Se observa yemas hinchadas despues de 2 semanas de iniciado el explante.

Capacitación del investigador en el Department of Crop and Soil Sciences, North Carolina State University (NC State University) en Raleigh, Carolina del Norte, Estados Unidos.

8 de enero al 2 de marzo de 2024

Colaboración en el establecimiento, mantención y evaluación de ensayos de estrés hídrico en diversas especies vegetales (Soya, Maravilla, variedad de césped, etc.) en fitotrones.

Mediciones realizadas: Asimilación de CO₂ y Conductancia Estomática (usando IRGA LICOR 6800), Curvas de Conductancia estomática en función de Déficit de Presión de Vapor, y Determinación de curvas de vulnerabilidad xilemática (mediante metodología óptica). Los conocimientos serán útiles para planificar evaluaciones en el proyecto CH15054, buscando líneas mutantes con tolerancia o resistencia a estrés abióticos (escasez hídrica o altas temperaturas).

Las herramientas adquiridas permitirán evaluar las especies del Laboratorio de Radiobiología Vegetal de la CCHEN e identificar posibles nuevas variedades generadas por inducción de mutación mediante radiación gamma, y comprender cambios metabólicos. La metodología de determinación de cavitación xilemática mediante métodos ópticos será de gran utilidad para evaluar parte del material vegetal del proyecto CH15054 y otras líneas de investigación del Lab. de Radiobiología Vegetal de la CCHEN. Específicamente, esta técnica permite evaluar el material M3 de *Lagenaria* generado por irradiación para identificar potenciales líneas mutantes con mejor comportamiento frente a condiciones de estrés hídrico.

Proyecto "Innovación Integral de Evaluación /Exposición a Contaminantes"

Investigadora: Aná Valdés

FIC

Salida terreno y análisis de muestras:

Más de 80 Muestras tomadas en terreno en la ciudad de Coyhaique y sus alrededores. Las muestras posteriormente fueron analizadas en Acme Lab. Canadá.

Memorias de título:

- **Valenzuela, L. 2024.** Línea Base Geoquímica de Suelos en la ciudad de Coyhaique y sus alrededores, Región de Aysén. Carrera de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. Profesora guía: Ana Valdés Durán.
- **Aránguiz, F. 2022-2025.** Caracterización de metales en el material particulado de la ciudad de Coyhaique, Región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo, Chile. Carrera de Geología, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción. Profesora Guía: Ana Valdés Durán.

Proyecto “Sistema nacional de referencia para verificar la autenticidad y determinar el origen de los alimentos mediante el uso de técnicas nucleares isotópicas”

Investigador: Enrique Mejías

OIEA cooperación técnica

El objetivo del proyecto es desarrollar metodologías analíticas para verificar la autenticidad y determinar el origen de alimentos chilenos de importancia estratégica, como miel, vinos y aceites de oliva, utilizando técnicas nucleares isotópicas.

Estadía de investigación (Fellowship) en el Laboratorio de Protección y Control Alimentario (Food Safety and Control Laboratory) del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) en Seibersdorf, Austria.

03 de junio al 01 de julio de 2024.

Antecedentes.

Enrique Mejías es la contraparte de CCHEN para el proyecto CHI 5053 y ya había completado un entrenamiento previo en octubre de 2022 sobre el procesamiento de muestras de miel y el acondicionamiento instrumental del equipo EA-IRMS (utilizado para determinaciones de razones isotópicas).

Actividades Principales. Las actividades teóricas y experimentales se centraron en la técnica isotópica para la certificación de autenticidad:

- Semana 1 (03-07 junio):** Presentación del laboratorio, discusión de técnicas de análisis de muestras alimentarias, entrenamiento en mantenimiento de subunidades del equipo EA-IRMS Marca Elementar, y preparación de soluciones y reactivos para procesamiento de miel.
- Semana 2 (10-14 junio):** Procesamiento del primer set de muestras de miel, extracción de proteínas, purificación de proteínas en miel y secado al vacío, y preparación de cápsulas para el análisis del primer set de muestras.
- Semana 3 (17-21 junio):** Entrenamiento en el uso del equipo EA-IRMS marca Thermo Scientific, uso del *software* del equipo, estabilización de parámetros analíticos para el análisis de materiales de referencia (estándares), y procesamiento del segundo set de muestras de miel.
- Semana 4 (24-28 junio): Análisis por EA-IRMS de la proteína aislada y los azúcares en el total de muestras de miel (18 unidades), procesamiento y discusión de los datos obtenidos, repetición del análisis (control del método), y reunión con oficiales técnicos y PMO para la coordinación e inicio del proyecto de continuidad CHI5056.
- Semana 5 (01 julio):** Consideraciones finales y planificación de próximos pasos del proyecto CHI5056.

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

Co-investigadora: Ana Valdés. Investigador responsable: Richard Toro.

Estudio que trata sobre la contaminación atmosférica y de suelos de Puchuncaví-Quinteros. Cerró el año 2024. Se están escribiendo publicaciones.

Salidas a terreno:

- Se realizan dos salidas a terreno a la localidad de Puchuncavía Quinteros con el fin de muestrear los suelos de las escuelas monitoreadas.

Memorias de título:

- Lobos, F. 2024. "Tasas de deposición de metales pesados asociados al material particulado sedimentable en el entorno del Complejo Industrial Las Ventanas". Carrera Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Memoria de Título Comisión Revisora y Evaluadora, Presidenta de la Comisión: Ana Valdés Durán.

Memoria de post-grado:

- González, F. 2024. "Análisis del Riesgo de Exposición a Metales Trazas en Polvo, Suelos y Material Particulado en Escuelas de Quintero-Puchuncaví". Carrera Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Programa de Magíster, Fac. de Ciencias. U de Chile Co-Directora de Tesis: Ana Valdés Durán.

Proyecto 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

Investigadora: Doris Ly

FIC-Regional Bío Bío

Dosis Letales y Efecto Radiohormético en *Quillaja saponaria* (Quillay) A. Determinación de DL30 y DL50

Se realizaron ensayos de supervivencia en viveros (CCHEN e INFOR) con semillas de *Quillaja saponaria* irradiadas a dosis entre 0 y 350 Gy.

- **Modelo Adoptado:** Se optó por el modelo logístico (binomial con enlace logit) por ser el más aceptado en estudios biológicos.
- **Resultados de Dosis Letales (Modelo Logístico):**
 - **DL30 (Dosis Letal 30):** 54 Gy
 - **DL50 (Dosis Letal 50):** 115 Gy

Efecto de Radiohormesis en Germinación

Se realizaron tres ensayos (preliminar, 1, 2) con bajas dosis de radiación gamma (rango de 1 a 20 Gy) en semillas de diferentes temporadas (cosechas 2022 y 2023). El objetivo era revertir la baja viabilidad en semillas de un año de antigüedad.

- **Semillas con 1 Año de Antigüedad (Cosecha 2022):**
 - La viabilidad natural es baja (Testigo/Control 0% en Ensayo Preliminar, 20% en

Ensayo 2).

- **Dosis Estimuladoras Identificadas:** Se identificaron las dosis entre **2 y 5 Gy** como estimuladoras.
 - *Ensayo Preliminar (5, 10, 15, 20 Gy):* Se observó una pequeña respuesta en **5 Gy (3%)**.
 - *Ensayo 2 (0-7 Gy):* El máximo de germinación fue con **2 Gy (40%)**, seguido por 1 Gy (30%) y el control (20%).
- **Semillas Recientes (Cosecha 2023):**
 - El efecto de la radiación no fue tan notorio, pero se observó un **adelantamiento en el inicio de la germinación**.
 - *Ensayo Preliminar (5, 10, 15, 20 Gy):* Se apreció una respuesta estimulatoria superior con **10 y 20 Gy**, además de un adelantamiento en la germinación.
 - *Ensayo 2 (0-7 Gy):* El mayor porcentaje de germinación fue con **6 Gy (80%)**, aunque no fue el primero en germinar.

Protocolo de Extracción de ADN en *Eucalyptus globulus*A. Protocolo Óptimo

Dado que *Eucalyptus globulus* presenta un alto contenido de fenoles, se probaron tres protocolos. El **Protocolo N°3** fue seleccionado como la metodología más indicada para la extracción de ADN de hojas.

- **Elemento Crítico:** La **Polivinilpirrolidona (PVP)** fue fundamental, ya que actúa como agente secuestrante de fenoles, mejorando la pureza del ADN.
- **Paso Clave:** La realización de la secuencia de **vortex y resuspensión** con micropipeta justo antes de medir las muestras con el Nanodrop OneC fue esencial para llevar la relación 260/280 al rango óptimo.

Resultados Finales de Cuantificación (Protocolo N°3)

La cuantificación final de ADN se realizó con las 12 muestras originales (irradiadas y control) aplicando rigurosamente el Protocolo N°3.

Muestra	Conc. ADN ng/ul	A260/280	A260/230	Contaminación
C1	0,823	2,079	0,255	Pureza óptima
C2	0,965	2,063	0,285	Pureza óptima
1	2,551	1,679	0,32	Pureza aceptable
2	1,23	1,519	0,274	Compuestos aromáticos

3	1,406	1,669	0,292	Pureza aceptable
4	1,395	1,397	0,389	Compuestos aromáticos
5	0,935	14,399	0,208	ARN
6	2,259	1,609	0,284	Pureza aceptable
7	2,044	1,325	0,338	Compuestos aromáticos
8	4,064	1,36	0,398	Compuestos aromáticos
9	1,648	1,237	0,329	Compuestos aromáticos
10	0,169	-0,449	0,042	Compuestos aromáticos

Observaciones Críticas de las Muestras Irradiadas

- Las muestras irradiadas (Muestras 1 a 10, dosis de 50 a 250 Gy) muestran la **detección de altos niveles de fenoles y ARN** en comparación con los controles (C1 y C2), que resultaron con pureza óptima.
- **Justificación:** Se plantea que la irradiación puede inducir cambios químicos que resultan en una mayor liberación de fenoles por descomposición celular y daño en el ADN/ARN, lo que conduce a la liberación de ARN. Esto se relaciona con el estrés oxidativo (producción de ROS) inducido por la radiación gamma.

Conclusión Analítica

El proyecto ha logrado establecer parámetros críticos para futuras investigaciones en especies forestales chilenas y exóticas. Se determinó que **54 Gy** y **115 Gy** son las dosis letales DL30 y DL50 para *Quillaja saponaria*, respectivamente, y se identificó un rango de dosis entre **2 y 5 Gy** como estimuladorio para la germinación de semillas de un año de antigüedad. En cuanto a *Eucalyptus globulus*, la validación del Protocolo N°3 subraya la necesidad de protocolos específicos (con PVP) para especies con alto contenido de compuestos aromáticos. Los resultados de ADN de las muestras irradiadas de *Eucalyptus globulus* sugieren un **efecto secundario de la radiación en la composición celular**, manifestado en la co-extracción de fenoles y ARN, lo cual puede requerir metodologías más detalladas a nivel genómico (como secuenciación, no disponible actualmente en CCHEN) para su completa comprensión.

Proyecto “Oxidative Stress Induced by Airborne Fine Particulate Matter: A Chemical-Biological Approach in the Context of Urban Air Pollution in Chile”.

Colaboradora: Ana Valdés. Responsable del proyecto: Manuel Leiva.

Se realizan dos salidas a terreno a la ciudad de Calama para evaluar el origen del arsénico, natural o antrópico, y su impacto en la población. En el marco de este proyecto, he contribuido con la Ley de Norma Primaria de Emisiones de Arsénico en Fundiciones, en el marco del establecimiento de la norma de emisiones para funciones de cobre y fuentes emisoras de As (Decreto N° 28 del Ministerio del Medio Ambiente).

Proyecto Anillo en Litio y Salares “Servicios ecosistémicos de salares: identificación del potencial biotecnológico y amenazas ambientales claves (MESS) ATE240021”.

Colaboradora: Ana Valdés

Otras actividades del CTNEV

Presentaciones a Congresos Nacionales

Título	Congreso	Fecha
"Investigaciones apícolas vistas en Apimondia 2023 y técnica para abordar el fraude en miel". Enrique Mejías	XXV Congreso Anual de la Red Apícola Nacional de Chile Vallenar, Provincia de Huasco, Región de Atacama	16 al 18 agosto
Evaluación de la hederabilidad del efecto protector a estres de distintos métodos de preacondicionamiento en plantas de <i>Arabidopsis thaliana</i> Cascarano, Rebecca; Salome, Maria Jesús; Sepúlveda, Constanza; Villegas, Daniel; Poupin, Josefina	LXVII Reunion Anual de la Sociedad de Biología de Chile La Serena	5 al 8 de noviembre 2024

Presentaciones a Congresos Internacionales

Título	Congreso	Fecha

<p>Ammonium and nitrate Blueberries cv. Blue Ribbon absorption at the first sixty days response of establishment on a soil: Preliminary results</p> <p>A. Nario, C. Bonomelli, M.I. Arias, K. Rojas, P. Blanc</p>	<p>Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences" 100 años de la Ciencia del suelo.</p> <p>Florencia, Italia</p>	<p>19 al 21 de mayo 2024</p>
<p>Physical storage of nitrogen in the pore volume. A dynamic factor of nutrient availability that depends on soil structure.</p> <p>John Clunes, Dante Pinochet, Sadi Werner, Susana Valle, José Dörner, Adriana Nario</p>	<p>Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences" 100 años de la Ciencia del suelo</p> <p>Florencia, Italia</p>	<p>19 al 21 de mayo 2024</p>
<p>Nuclear technologies to improve the resilience of forest species in the face of climate change</p> <p>Rojas, Patricio; Forster, Brian P; Molina, Maria Paz; Gonzalez, Jorge; Koch Laura; Velasquez, Ethel; Villegas, Daniel; Ly, Doris; De la Cruz, Eulogio; Gonzalez, Josefina</p>	<p>26th IUFRO World Congress</p> <p>Estocolmo, Suecia</p>	<p>Junio 2024</p>
<p>Gamma irradiation mutagenesis applied in plant breeding programs for rootstocks: the case of <i>Lagenaria siceraria</i>.</p>	<p>American Society of Plant Biology</p> <p>Honolulu, USA</p>	<p>22-26 de junio 2024</p>

Ariel Salvatierra, Guillermo Toro, Paula Pimentel, Doris Ly, Daniel Villegas		
Formation of di-tryptophan dimers by radical-radical reactions	Society for Free Radical Research Europe (SFRR-E) Estambul, Turquía	5-7 junio 2024
Marcela Morales, Juan David Figueroa, Daniel Villegas , Eduardo Fuentes-Lemus, Michael J. Davies, Camilo López-Alarcón		
Tools for determination of authenticity in Chilean honey: Stable Isotopic Techniques and its relationship with botanical origin and bioactive compounds	International Symposium on Food Safety and Control - IAEA. Viena - Austria	27 – 31 de mayo de 2024
Mejias E. , Abraham A., Li A., Kelly S		
Effect on the antioxidant properties of native Chilean endemic honeys treated with ionizing radiation to remove American foulbrood spores		
Mejias E. , Gomez C., Garrido T.		

Vinculación con el Medio - Charlas, Visitas y Reuniones

Actividad	Lugar	Responsable	Fecha
Charla a escolares sobre Radiobiología Vegetal	Colegio Manquecura de Puente Alto.	Daniel Villegas	22 de julio 2024
Charla a escolares sobre Radiobiología Vegetal	Colegio Arturo Toro Amor, Recoleta	Daniel Villegas	9 de septiembre 2024
Charla I+D Lab. de Radiobiología Vegetal.	Fac. de Biotecnología, Mayor	Daniel Villegas	22 de marzo 2024
Charla "Alfabetización científica"	Colegio Rosa Elvira Matte	Enrique Mejías	23 de octubre
Reunión técnica inicial del proyecto de cooperación Chile-México "Tecnologías nucleares y biotecnológicas para mejorar la sustentabilidad de ecosistemas forestales afectados por el cambio climático en México y Chile"	INFOR - CCHEN	Daniel Villegas Doris Ly	25 al 29 de noviembre
Misión de experto "Support the initiation of an avocado breeding programme using mutation induction and other biotechnologies"	CCHEN - PUCV	Daniel Villegas Doris Ly	9 al 13 de diciembre
Seminario de Lanzamiento del proyecto Fondef IDeA 2024 "Radiación ionizante	INFOR - CCHEN	Daniel Villegas Doris Ly Adriana Nario	4 de Noviembre

para mejorar la germinación y el crecimiento inicial de plantas de especies forestales nativas vulnerables (palma chilena, queule, belloto del sur, quillay) frente al cambio climático		Enrique Mejías	
Visita a Facultad de Ingeniería de la Universidad de Playa Ancha, Valparaíso	UPLA	Doris Ly Ana Valdés Adriana Nario Marco Acuña	8 de julio
Reunión y Exposición sobre proyecto piloto “Suelos Potencialmente Contaminados”	Reunión y charla virtual, realizada en el marco del proyecto ARCAL, RLA5089, sobre suelos potencialmente contaminados por metales y metaloides	Ana Valdés Durán	20 de noviembre
Presentación de Resultados del Proyecto FIC “Innovación Integral de Evaluación Exposición a Contaminantes”	Auditorio INACAP, Coyhaique, Región de Aysén	Ana Valdés Durán	12 de Diciembre

Vinculación con el Medio - Asistencias, Simposios, Charlas, Encuentros

Evento	Asistente	Fecha
Primera reunión regional de coordinación del RLA/5/090”	Daniel Villegas	29 de abril al 3 de mayo
Reunión de Coordinación “Proyecto IDeA INFOR-CCHEN	Daniel Villegas Doris Ly	18 de junio

Día Nacional de la Miel	Enrique Mejías	6 de agosto
Seminario "Construyendo Cultura de Inocuidad Alimentaria desde la política Pública: El Enfoque de ACHIPIA"	Enrique Mejías	26 de julio
3 ^{er} Encuentro de Jóvenes Investigadores en las Ciencias del Suelo (EJICS) Presentación “Coeficientes de distribución (K_d) de ^{133}Cs y su transferencia a plantas de tomate en suelos chilenos”, Poulette Blanc, Adriana Nario, Marco Acuña, Carolina Marcial, Yasna Tapia y Andrea Joven	Poulette Blanc	15 y 18 de abril
Avances del proyecto CRP "Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del Impacto Radiológico Ambiental" (virtual)	Adriana Nario	4 de diciembre
Segunda Reunión Presencial en el marco del Proyecto HELICE AFA Lugar: Biblioteca de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile	Enrique Mejías	30 de octubre
Reunión con un grupo de profesionales del Instituto de Salud Pública (ISP) a cargo de la coordinación del Subcomité de Grasas y Aceites del Codex Alimentarius para Chile	Enrique Mejías	29 de octubre
Fiesta de la Ciencia en los Colegios de la Alianza Francesa Presentación Charla:	Enrique Mejías	10 y 16 de octubre (Stgo) 17 de octubre (Curico)

Las abejas como guardianas de la biodiversidad de los bosques nativos		
Reunión final proyecto CRP “Uso de isótopos estables como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de los radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura”	Adriana Nario	15 al 19 de Julio
Seminario “Importancia de la Protección de las Variedades Vegetales	Doris Ly	10 octubre
Seminario “Organismo de Cuenca y Cartera de Proyectos de Seguridad Hídrica en la Cuenca del Maipo”	Ana Valdés Durán	19 de julio
Ciclo de charlas del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares	Ana Valdés Durán	25 de julio
Dicta charla en AIDIS. Charla Capacidades actuales o potenciales de I+D CCHEN en temas de contaminación en suelo, aire y/o agua.	Ana Valdés Durán	18 de noviembre
Seminario “Minerales Estratégicos: El nuevo impulso de la minería en Chile.”	Ana Valdés Durán	18 de diciembre

Programas de Formación, entrenamiento, Desarrollo profesional

Nombre del Curso	Duración	Participantes	Fecha
Taller de Diálogo Sostenido sobre Usos Pacíficos (SDPU) sobre Inocuidad y Seguridad Alimentaria en América Latina- Asunción, Paraguay	3 días	Enrique Mejías	16 al 18 julio

Curso de capacitación sobre Técnicas de Análisis Radiométrico en Matrices Biológicas Universidad de Chile – CCHEN – SAG	5 días	Enrique Mejías, Marco Acuña, César Vásquez, Gustavo Sylvester, Hernán Loyola, Adriana Nario	18 al 22 de noviembre
Taller de entrenamiento "Integrated Nuclear and Complementary Approaches to Understanding the Nexus between Water and Nutrient Use Efficiency, Nutrition Security and Food Safety for Dryland Crops in a Changing Climate"	OIEA (virtual)	Enrique Mejías	26 noviembre al 03 diciembre

Convenios o Contratos en I+D

Institución Asociada	Descripción del Convenio	Fecha de Firma
Soc. Agroporductora Tarpuy	Apoyarse mutuamente, en el desarrollo conjunto de actividades técnico-científicas, relacionadas con el uso de energía ionizante para modificar el metabolismo en especies vegetales.	5 de agosto 2024 (REX 077/2024)

Formación de Estudiantes

Nombre del Estudiante	Programa/Universidad	Actividad	Tutor
Annais Espinoza	Biotecnología/Universidad Mayor	Tesis de pregrado	Doris Ly

Michelle Campusano	Química Ambiental/Universidad de Chile	Tesis de pregrado	Adriana Nario
Katalina Larrañaga	Biología mención Medio Ambiente/Universidad de Chile	Tesis de pregrado	Osvaldo Salazar, Adriana Nario
Gerardo Arredondo	Doctor en Ciencias Agrícolas/Pontificia Universidad Católica	Tesis de postgrado	Claudia Bonomelli, Adriana Nario
Krystel Rojas	Magíster en Fisiología y Producción Vegetal/Pontificia Universidad Católica	Tesis de postgrado	Claudia Bonomelli, Adriana Nario
Rodrigo Martinez	Agronomía, PUC	Práctica Profesional	Daniel Villegas
Fernanda Aráguiz	Geología, Universidad de Concepción	Memoria de Título	Profesora Guía: Ana Valdés Durán
Loreto Valenzuela	Geología, Universidad de Chile	Memoria de Título	Profesora Guía: Ana Valdés Durán
Vicente Guerrero	Geología, Universidad de Chile	Memoria de Título	Profesora Guía: Ana Valdés Durán
Fiorella González	Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile	Programa de Magíster, Fac. de Ciencias. U de Chile	Co-Directora de Tesis: Ana Valdés Durán.
Max Hidalgo	Geología, Universidad Mayor	Memoria de Título	Comisión Revisora y Evaluadora: Ana Valdés Durán
Sofía Fernández	Geología, Universidad Mayor	Memoria de Título	Comisión Revisora y Evaluadora: Ana Valdés Durán
Luis Felipe Liberonia	Geología, Universidad Mayor	Memoria de Título	Comisión Revisora y Evaluadora Exámen: Ana Valdés Durán

Felipe Lobos	Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.	Memoria de Título	Comisión Revisora y Evaluadora, Presidenta de la Comisión: Ana Valdés Durán.
--------------	--	-------------------	--

CCHEN LITIO

Control Regulatorio en el Litio

En esta área, la misión de la CCHEN, establecida por ley, es verificar el cumplimiento de las condiciones establecidas en las autorizaciones de los actos jurídicos relacionados con litio extraído, otorgadas por la CCHEN, en virtud del artículo 8º de la Ley N° 16.319. Nuestra institución representa el interés del Estado de Chile por mantener un 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 electromovilidad y la energía.

De este modo, la CCHEN es responsable del control de los actos jurídicos de litio extraído, sus concentrados, derivados y compuestos, así como gestionar la generación de las capacidades técnicas requeridas para ejercer los controles sobre las condiciones establecidas en los acuerdos del Consejo Directivo y coordinarse con los organismos fiscalizadores sectoriales correspondientes.

Acuerdos del Consejo de la CCHEN referentes a Litio

A continuación, se muestran los acuerdos de Consejo relacionados con litio, durante el año 2024:

Nº Acuerdo Consejo	Solicitante	Resumen
Nº2465 28/05/2024	CleanTech Lithium	Rechazar las solicitudes presentadas por las empresas Atacama Salt Lakes SpA y Laguna Negro Francisco SpA., ambas propiedad de la empresa CleanTech Lithium por no contar con un título habilitante legalmente constituido u otorgado por la autoridad competente para explorar o explotar litio en las zonas referenciadas en su solicitud.

N°2470 30/07/2024	Empresa Nacional de Minería	Autorizar a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) para enviar muestras de Salmuera de litio a instituciones tecnológicas y/o laboratorios que desarrollan tecnologías para la extracción directa de litio (Direct Lithium Extraction o DLE)*
N°2473 24/09/2024	Instituto Nacional de Normalización	Autorizar a la Instituto Nacional de Normalización (INN) a enviar muestras de carbonato de litio a instituciones tecnológicas y/o laboratorios que desarrollan tecnologías de metrología química, ya sea por sí o encomendándole dicha labor a un tercero, previamente autorizado por la CCHEN.

Fuente: Acuerdos de Consejo Directivo disponible en página web CCHEN <https://www.cchen.cl/>.

**Las tecnologías para la extracción de litio en forma directa (Direct Lithium Extraction o DLE, por sus siglas en inglés) se están desarrollando en diversas partes del mundo, a fin de transitar a sistemas que resulten más eficientes y productivos que los tradicionales, sobre la base de obtener una mayor rapidez en la faena extractiva y una tasa más alta de recuperación de litio desde las salmueras. Así, las DLE persigue avanzar hacia procesos de obtención de litio más sustentables, fundados 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 permitir la devolución de salmueras a las napas subterráneas respectivas, y con un mínimo de cambios químicos.*

Inspección de Instalaciones de SQM en el Salar de Atacama relacionadas con la Obtención de Solución de Cloruro de Litio Concentrada y Obtención de Sulfato de Litio

En diciembre de 2024 se realizó esta inspección para describir los procesos de evaporación solar utilizado por SQM en el Salar de Atacama para la obtención de solución de cloruro de litio concentrada y la obtención de Sulfato de Litio a partir de la extracción de salmueras desde pozos.



Despacho



Sulfato de litio



Sulfato de Litio



Sulfato de Litio



Reinyección directa

El proceso de reinyección directa implica el uso de las salmueras de descarte donde ya se extrajo gran parte del litio, las cuales son usadas a la vez para hacer lavados de sales de descartes generando una pulpa que es la que finalmente se transporta mediante ductos a la zona designada para realizar la reinyección directa.

Reinyección

Reinyección



La inspección se realizó con apoyo del nivel central del Departamento de Fiscalización y la Dirección Regional de Antofagasta del Servicio Nacional de Aduanas. Ambos servicios realizaron las actividades, permitiendo a los equipos técnicos fortalecer su rol fiscalizador.

Actividades de continuidad

Se dio continuidad a las actividades de Control de Ventas de Litio y con la participación en el Comité Técnico ISO/TC 333 Litio:

Empresa	Cantidad solicitudes	Cantidad resoluciones
SQM SALAR	3218	28
ALBEMARLE	889	14
ENAMI	17	5
Summit Nanotech	6	5
Codelco Maricunga	15	3
Sociedad Contractual Minera Copiapó	5	5

Fuente: Autorizaciones otorgadas por CCHEN para venta de litio en 2024. Plataforma Control Venta Litio.

Consumo de cuota de litio por empresa año 2024

Empresa	Acuerdo	Año 2024 LME (Ton)
SQM SALAR	2287/2018	43.012,20
ALBEMARLE	801/1980	13.199,59
ENAMI	2470/2024	1,1
Summit Nanotech	2424/2022	0,0291
Codelco Maricunga	2224/2017	0,00113
Sociedad Contractual Minera Copiapó	2452/2023	0,039

Fuente: Plataforma Control Venta de Litio.

Consumo de cuotas autorizadas por acuerdos CCHEN

El consumo de la cuota de establecidas en acuerdo 1576/1995 y en acuerdo 2287/2018 de la Empresa SQM entre los años 1996-2024 ha sido 275.279,95 Ton de LME, el detalle por año y producto se muestra en la siguiente tabla:

Año/ Producto	LI2CO3	LI2SO4	LIOH	LIS	Total (Ton de LME)
1996	41				40,66
1997	1.762				1.761,88
1998	2.421				2.420,63
1999	3.954				3.953,58
2000	4.077				4.076,97
2001	4.184				4.183,70
2002	3.952				3.952,49
2003	4.527				4.527,05
2004	5.369			123	5.491,63
2005	4.919		38	94	5.050,53
2006	4.711		602		5.313,22
2007	4.579		738	142	5.459,79
2008	4.083		789	434	5.306,51
2009	2.651		587	607	3.845,14
2010	4.726		880	541	6.147,30
2011	6.265		916	877	8.057,34
2012	6.787		864	904	8.555,25
2013	4.898		629	1.032	6.558,76
2014	5.236		744	1.074	7.054,61
2015	5.203		689	1.077	6.969,40
2016	7.311		951	1.386	9.648,55
2017	7.367		1.012	351	8.729,99
2018	7.755		1.016	21	8.791,22
2019	8.882		1.355	0,427	10.237,52
2020	11.826	40	1.642	0,180	13.507,65
2021	18.198	974	1.989	0,697	21.162,78
2022	26.018	1.761	2.481	0,361	30.260,63
2023	24.528	2.871	3.804	0,537	31.203,00
2024	31.572	7.974	3.464	0,293	43.012,20
Total					275.279,95

Fuente: Plataforma Control Venta de Litio.

El consumo de la cuota establecida en acuerdo 801/1980 y sus modificaciones, de Albemarle, es de 158.904,60 Ton de LME, el detalle por año y producto se muestra en la siguiente tabla:

Año/Producto	Li2CO3	LiCL	LIS	Muestras	Total (Ton de LME)
1984	229				228,68
1985	1.013				1.013,37
1986	822				821,97
1987	1.326				1.325,74
1988	1.770				1.769,68
1989	926				925,74
1990	1.705				1.705,37
1991	1.528				1.528,23
1992	1.931				1.930,61
1993	1.935				1.935,11
1994	1.981				1.980,83
1995	2.459				2.458,96
1996	2.549				2.549,07
1997	2.366				2.365,64
1998	2.195				2.195,05
1999	2.494				2.494,21
2000	2.677				2.677,11
2001	2.488				2.487,63
2002	2.868	13			2.881,83
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
2222	9.856			0,856	9.857,18
2023	10.190			1,704	10.191,96
2024	13.197			2,412	13.199,59
Total					158.904,60

Fuente: Plataforma Control Venta de Litio.

El consumo de la cuota establecida en acuerdo N° 2470/2024 de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) es 1,1 Ton de LME de muestras de salmuera natural, como se muestra en la siguiente tabla:

Año/ Producto	LIS	Total (Ton de LME)
2024	1,1	1,1

El consumo de la cuota establecida en acuerdo N° 2424/2022 de Summit Nanotech Chile Spa es 0,0291 Ton de LME de muestras, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Año/ Producto	LIS	Total (Ton de LME)
2024	0,0291	0,0291

Fuente: Plataforma Control Venta de Litio.

El consumo de la cuota establecida en acuerdo N° 2224/2017 de Codelco fue de 0,00113 Ton de LME de muestras de Salmuera Natural, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Año/ Producto	LIS (Ton de LME)	Total (Ton de LME de Salmuera natural)
2024	0,00113	0,00113

Fuente: Plataforma Control Venta de Litio.

El consumo de la cuota establecida en acuerdo N°2452/2023 de la Sociedad Contractual Minera Copiapó, fue de 0,039 Ton de LME de muestras, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Año/ Producto	LIS (Ton de LME)	Total (Ton de LME de Salmuera natural)
2024	0,039	0,039

Fuente: Plataforma Control Venta de Litio, Febrero 2024.

Comité y Normas de Litio Comité Técnico ISO/TC 333 Litio

Chile participa, activamente, en el Comité Técnico ISO/TC 333 Litio, cuya contraparte principal a nivel nacional es el Instituto Nacional de Normalización (INN), que tiene el rol de articular el enlace con ISO. Producto del trabajo del INN, se estableció la implementación del Comité Espejo chileno, que hoy se encuentra trabajando 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 sea 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 a generar a través de este Comité. 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 (WG) y, dentro de cada grupo, se conformaron Grupos de Estudios (SG), que tratan un tema en particular relacionado con el WG. Cada WG posee un convocante (Convenor) y cada SG, un líder de proyecto (Project Leader).

En el caso de Chile, a nivel de organismos públicos, existen dos representantes nacionales en el Comité ISO/TC 333: Héctor Sáez, del INN, quien actúa como coordinador del INN ante ISO en el Comité; y respecto a temas técnicos de las normas mencionadas, Manuel Escudero, de la CCHEN.

Como líder de proyecto, Manuel Escudero participa en dos Grupos de Estudio del WG N°3 “Análisis Químico de Carbonato de Litio”: “Determinación de impurezas en Hidróxido de Litio (ISO 16423)” y “Determinación de impurezas en Carbonato de Litio (ISO 11757)”, y es convocante del WG N°7 “Análisis Químico de Cloruro de Litio” (ISO 16398).

Una vez al año, y para discutir los avances y coordinar el trabajo de los WG de ISO, se realizan reuniones presenciales de convocantes y representantes, donde, por lo general, el país que ejerce la Secretaría, actúa como sede. En 2024, Reino Unido fue el país sede, los días 2 y 3 de diciembre.

• Reunión Plenaria Comité Técnico ISO/TC 333 Litio en Londres

El 2 y 3 de diciembre de 2024, se realizó en Reino Unido, la reunión anual del Comité Técnico ISO/TC 333 Litio, que contó con la participación de Manuel Escudero, encargado de Aseguramiento de la Calidad de la CCHEN. Este Comité está compuesto por 33 países miembros de ISO y de estos, 20 participan en forma activa, y 13 como países observadores. En esta ocasión se dieron a conocer los avances de cada grupo de trabajo.

Hoy la mayoría de los grupos terminaron de revisar cada estándar en la etapa de Working Draft para luego generar un Committee Draft y a su vez han iniciado actividades relacionadas con los ensayos interlaboratorios a realizarse durante 2025 para comprobar la aplicabilidad de las metodologías trabajadas y consensuadas a través de expertos de los países participantes en este comité ISO/TC 333. Se espera que la publicación de estos estándares internacionales se materialice en 2026. Esta actividad recibió apoyo financiero del Instituto Nacional de Normalización (INN).

Otras actividades

- **Reunión de coordinación Corfo-CCHEN**

Participan, en forma permanente: Corfo, CCHEN y empresas invitadas, como SQM, Albemarle, Summit Nanotech, Enami, Minera Copiapó y Codelco Maricunga.

Se establecen reuniones periódicas para resolver:

- Incidentes asociados a operación de la plataforma de control de venta de litio, relacionadas con ingreso de datos para generar resoluciones, revisión de información y 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.
- Se realizaron ajustes correctivos para optimizar y mantener la continuidad operacional de la Plataforma Control Venta Litio.
- Se solicitó a Corfo (administrador plataforma) respaldo de base de datos e implementación del módulo de extracción de Salmueras, que se espera sea programado para 2025.

Investigación en temáticas relacionadas al litio

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

Investigador: Julio Urzúa

ANID FONDECYT Iniciación

El proyecto se centra en el desarrollo y evaluación de microcápsulas poliméricas que contienen un nuevo líquido iónico como extractante, con el objetivo de extraer selectivamente el magnesio y el boro de salmueras de litio, lo que permitiría obtener salmueras de litio de alta pureza.

Avances en 2024:

- **Hito 1: Síntesis de Microcápsulas Poliméricas** Describe la metodología de síntesis de las microcápsulas por polimerización en suspensión.
 - El objetivo es encapsular un extractante selectivo (basado en Bis(2-etylhexil)fosfato) dentro de una cubierta polimérica (Stireno/DVB).
 - Se prepararon 5 composiciones diferentes de microcápsulas (MC 1 a MC 5) variando los porcentajes de DVB, Stireno y Extractante.
- **Hito 2: Caracterización Térmica**
 - Se utilizó análisis termogravimétrico (TGA) para caracterizar las muestras y calcular el porcentaje de encapsulación del extractante.
 - La composición **MC 2** (20% DVB, 60% Stireno, 20% Extractante) fue la que logró la mejor encapsulación (19,7% de encapsulación y 98,5% de rendimiento). Sin embargo, se notó que la **MC 5** (28% DVB, 28% Stireno, 44% Extractante) tuvo el mayor porcentaje de encapsulación absoluta (33,9%).
- **Hito 3. Caracterización físico-química y morfológica**

- Detalla el examen de las microcápsulas con microscopía SEM, específicamente la composición 2 (seleccionada por su mejor rendimiento de encapsulación en Hito 2). Se observó una variación en el tamaño de las microcápsulas (2 μm a 10 μm) y la presencia de aglomerados, lo que indica la necesidad de optimizar las condiciones de síntesis para evitar la aglomeración.
- **Hito 4: Primeros Ensayos de Extracción**
 - Se evaluaron las 5 series de microcápsulas en ensayos preliminares de extracción con salmuera sintética.
 - Se estableció una correlación positiva: a mayor porcentaje de encapsulación, mayor es la eficiencia de extracción de magnesio (%E Mg). La **MC 5** fue la que mostró el mejor resultado.
 - Se confirmó una buena **selectividad** hacia el magnesio sobre el litio (bajos %E Li) y el boro (nulo %E B).
- **Hito 5: Optimización de Extracción**

Se realizaron ensayos de optimización con la microcápsula que mostró el mejor desempeño inicial (implícitamente MC 5, aunque no se nombra explícitamente, ya que fue la de mayor porcentaje de extracción en Hito 4).

- La variación de pH mostró que el aumento del pH (de 1,52 a 6,10) incrementa el %E Mg (de 20% a 33%).
- Al cambiar a una salmuera de menor concentración, se observó un aumento significativo en la extracción de magnesio.
- La temperatura y el tiempo de contacto fueron identificados como variables clave para mejorar la extracción, alcanzando hasta un **92% de extracción de Magnesio** a 45°C y 24 horas.

Comparación de las Composiciones de Microcápsulas

Los siguientes resultados son fundamentales para comprender la relación entre la composición de las microcápsulas y su rendimiento inicial:

MC	DVB	St	Extractante	% Encap.	%E Li (Hito 4)	%E Mg (Hito 4)	%E B (Hito 4)
1	40%	40%	20%	19,2	3	50	0
2	20%	60%	20%	19,7	3,5	52	0
3	60%	20%	20%	18,9	3	51	0
4	33%	33%	33%	27,3	5	56	0,5
5	28%	28%	44%	33,9	8	61	0,6

Nota: La MC 5, con el mayor porcentaje de Extractante y % de Encapsulación, presentó la mayor

eficiencia de extracción de Mg en los ensayos preliminares (Hito 4), lo que llevó a su uso en la optimización. Caracterización Morfológica (Hito 3).

CCHEN TECNOLOGÍAS CIENTÍFICAS Y PRODUCTIVAS

Reactor de Investigación RECH-1

Tiempo de operación

Información	Detalles
Tiempo de irradiación (en horas)	1352,56 hrs solicitadas, ejecutadas en 874,5 hrs
Cápsulas Irradiadas (N)	899

Actualización tecnológica

Cambio de sensores de posición de las placas de control, con mayor precisión que los anteriores, más sus indicadores digitales en la sala de control.

Visitas de expertos

- Misión de seguimiento sobre la Operación y Mantenimiento de Reactor (Post-OMARR), en donde se revisó el avance de las recomendaciones y sugerencias levantadas en la misión principal, y se entregaron lineamientos de cómo completar lo restante. Realizada del 15 al 17 de julio.
- Misión de Inspección en Servicio al núcleo del reactor y componentes circundantes. En la ocasión, se inspeccionó con cámaras que soportan la radiación, soldaduras del manto de acero inoxidable de la piscina y los componentes del núcleo y circundantes. Realizada entre el 21 al 25 de octubre.

Formación y capacitación

- FIRST Latin America and the Caribbean Regional Workshop on Advancing the Safe and Secure Deployment of Small Modular Reactors (SMRs) | 11-14/12/2024.
- Ministerial Conference on Nuclear Science, technology and Application and the Technical Cooperation Programme | 24-30/11/2024.
- Eventos paralelos en 68^a Conferencia General del OIEA, como expositor en el evento referente a los 50 años del Reactor de Investigación Chileno RECH-1 | 14/09/2024 - 21/09/2024.
- Taller de Capacitación sobre Examen No Destructivo, Inspección en Servicio y Monitorización En Línea para Reactores de Investigación | 01-10/11/2024.
- International Meeting on the Code of Conduct on the Safety of Research Reactors | 24/08/2024 - 01/09/2024.
- International Meeting on the Code of Conduct on the Safety of Research Reactors | 24/08/2024 - 01/09/2024.
- Conferencia Internacional sobre Reactores de Investigación: Logros, Experiencia y el Camino hacia un Futuro Sostenible | 08-17/11/2024.
- Carrera de Especialización en Seguridad Nuclear | 08/09/2024 - 14/12/2024.

Otra información

En 2024 se trabajó con INVAP (Argentina) para implementar una nueva instrumentación nuclear para el reactor, a cargo de monitorear su operación. Fecha estimada de entrega en Chile es a fines de 2025.

Producción de Elementos Combustibles

Cuatro elementos combustibles durante 2024:

- 11 enero 2024: suministro y transporte de elementos combustibles LR-106 y LR-107.
- 12 noviembre 2024: Suministro y transporte de elementos combustibles LR-108 y LR-109.

Participación en Congresos

- Conferencia Internacional de bajada de enriquecimiento en reactores de investigación RERTR 2024
Expositor (presencial): Luis Olivares S.
27-30 de octubre de 2024 | Lyon, Francia
Contribución: Development of Technologies for Fission Mo-99 Production: Dissolution Tests of Plate Type Targets
- Taller sobre el control de materiales nucleares NMAC
Santiago, Chile | 5 a 9 de agosto de 2024
Participantes: Jaime Lisboa, Mario Barrera, María José Alarcón y Luis Olivares

Planificaciones realizadas

- Convenio específico CCHEN-CNCR | Abril 2025
- Taller de aplicación de radiaciones ionizantes aplicado a Patrimonio Cultural | Mayo 2025
- Demostración de las técnicas de END en CEN Lo Aguirre a la Unidad de Proyectos de Inversión de Servicio Nacional del Patrimonio Cultural

Centro Subregional de Ensayos No Destructivos

- Inspección Sede INACAP-Renca
Evaluación Obra Mural de Artista José Venturelli.
- Inspección Ilustre Municipalidad de San Ramón
Evaluación estructural de dos piscinas semi olímpicas
- Inspección Plaza Baquedano
Evaluación estructural de Pedestal del Monumento Patrimonio General Baquedano
- Inspección División Gabriela Mistral, Codelco
Evaluación de riesgo en fundación pica roca de planta de chancado y molienda

- Inspección Minera La Coipa
Evaluación de riesgo de muro de contención de planta de electrolitos
- Demostración de aplicación del CSEND-CCHEN ante emergencias a Naciones Unidas y SENAPRED
Presentación realizada al Jefe de la Oficina Regional para las Américas y el Caribe de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres y a la Directora de SENAPRED

Otra Información

- Suministro de 500 cápsulas para irradiación de materiales al Laboratorio de Producción de Radioisótopos y Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica.
- Reparación y levantamiento de Fantoma 1, para el Laboratorio de Dosimetría Citogenética.
- Fabricación de cápsulas y contenedor de cápsula porta cobalto, M19-01-44 para su irradiación.
- En el marco del Ejercicio de Forénsica CMX-8 junto con la Policía de Investigaciones, PDI, se asume como custodio del material nuclear dispuesto para el ejercicio.

Proyecto “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 medioambiente”.

Investigadora: María José Inestrosa

ANID FONDEQUIP Mediano

Este equipo tiene una aplicación transversal y diversa que beneficiará no sólo a la CCHEN, sino también a diversas instituciones de investigación y desarrollo en Chile, más aún considerando su potencial para análisis de muestras de material nuclear o radiactivo, que hasta ahora no estaba disponible a nivel nacional.

En 2024 se realizaron los siguientes avances:

Título	Descripción
Adquisición de Equipo	Documento de Orden de Compra por un valor total de \$380.216.720 (IVA incluido) a SOC COMERCIAL MIHOVILOVIC HNOS Y OTRO LIMITADA para un Microscopio Raman Confocal WITec y Accesorios, incluyendo servicios de flete y desaduanaje. La fecha de envío de la OC fue el 12-08-2024 y la entrega esperada es el 11-10-2024.

Adecuación de Espacio	Bases de licitación para la adquisición de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS de 6KVA) y un Estabilizador de corriente (3KVA mín.) para el equipo AFM-Raman, y bases técnicas para la remodelación y adecuación de la sala AFM-Raman en el Laboratorio de Caracterización Física en CEN Lo Aguirre. El plazo máximo de entrega de los equipos es de 90 días corridos, y el plazo de ejecución de las obras de adecuación es de 15 días corridos.
Desarrollo de Accesorios	Diseño de un portamuestras especial de acero inoxidable para el análisis de materiales nucleares (aleaciones de uranio) con el equipo Confocal-Raman-AFM. El diseño busca ser un sistema cerrado para el transporte seguro desde la campana de preparación de muestras radiológicas y simplificar la limpieza utilizando placas Petri en su interior.

El equipo modelo Alpha300 RA es un sistema modular versátil que combina dos técnicas complementarias: la caracterización de la superficie a escala nanométrica mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) y la espectroscopía Raman para el análisis químico. Además, es capaz de correlacionar y superponer ambas técnicas, lo que lo convierte en una herramienta ideal para mediciones TERS (Raman-AFM de alta resolución).

La incorporación del Alpha300 RA apunta a una mayor independencia en las caracterizaciones, lo que garantiza la continuidad de las actividades de investigación y aumenta la eficiencia en tiempo y disponibilidad para la investigación científica institucional. Sumado a ello, ofrece la oportunidad de analizar muestras que no se pueden estudiar en ninguna otra institución en el país, lo que abrirá la puerta a nuevos proyectos y líneas de investigación basados en material nuclear o radioactivo.

Recursos Tecnológicos Compartidos

El Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos (DRTeC) agrupa los siguientes laboratorios: Laboratorio de Caracterización Química (LCQ), Laboratorio de Caracterización Física (LCF), Laboratorio de Caracterización Química Convencional (LCQC), Laboratorio de Isótopos Ambientales (LIA) y el Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN). Estos laboratorios brindan soporte a las investigaciones desarrolladas por la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) y sus instituciones asociadas, a través de la implementación de técnicas avanzadas y conocimientos científicos especializados.

En el transcurso del año 2024, se proporcionaron análisis de apoyo a diversos centros de investigación, realizando un total de 6,443 determinaciones analíticas.

LABORATORIO						
	LCQ-LoA	LCF-LoA	LCQC	LIA	LAAN	Total 2024

Nº órdenes de trabajo	71	70	27	3	8	179
Nº muestras ingresadas	702	349	573	62	115	1801
Total determinaciones	2602	635	2444	204	558	6443
LCQ: Laboratorio de Caracterización Química						
LCF: Laboratorio de Caracterización Física						
LCQC: Laboratorio de Caracterización Químico Convencional						
LIA: Laboratorio de Isótopos Ambientales						
LAAN: Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica						

- **Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN)**

En 2024, con el objetivo de fortalecer las capacidades de análisis mediante el uso pacífico de la energía nuclear en el país y con la asesoría del experto internacional de la OIEA, Peter Vermaercke, se inició la construcción de un nuevo laboratorio de análisis por activación neutrónica. Esta instalación, estratégicamente ubicada junto al reactor nuclear RECH-1, permitirá realizar estudios con mayor precisión y rapidez. Uno de los avances más relevantes de este proyecto es la incorporación de un sistema de irradiación neumático, diseñado para optimizar la detección de radionúclidos de periodo de semidesintegración corto y ampliar el rango de elementos analizados.

Este hito representa un avance significativo en la modernización de las capacidades analíticas del laboratorio, lo que permitirá ofrecer una mayor cantidad de radioisótopos a la comunidad científica y actualizar las técnicas empleadas. Con estas mejoras, se busca consolidar el liderazgo en investigación y desarrollo en activación neutrónica, asegurando una infraestructura de vanguardia a nivel mundial.

En el ámbito de la difusión, se participó activamente en actividades organizadas por la institución, promoviendo esta técnica en tres colegios de distintas comunas de la capital: Manuel de Salas, José Joaquín Prieto y Arturo Matte Larraín.

- **Laboratorio de Isótopos Ambientales (LIA)**

Durante el año 2024, el Laboratorio de Isótopos Ambientales (LIA) experimentó un aumento en sus actividades, reflejado tanto en el incremento del ingreso de muestras como en la incorporación de nuevo equipamiento tecnológico. Como parte de esta expansión, se construyó una caseta de gases para albergar los gases patrones utilizados en el equipo de Espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas (IRMS) con analizador elemental, el cual permite medir la composición isotópica global de una muestra.

Asimismo, el OIEA donó un IRMS acoplado a un Cromatógrafo de Gases (GC-IRMS), diseñado para la determinación isotópica de compuestos específicos en mezclas complejas. Ambos equipos han sido incorporados a las actividades del laboratorio y se emplean en el análisis isotópico de matrices alimentarias.

El LIA forma parte de la Red de Monitoreo de Precipitaciones, un programa internacional coordinado por el OIEA y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Su objetivo es mantener un registro

actualizado de los datos isotópicos de precipitación a nivel mundial, con la participación activa de Chile. En este marco, el laboratorio realizó un monitoreo exhaustivo de precipitaciones, generando datos para el Global Network for Isotopes in Precipitation (GNIP).

Se determinó el contenido isotópico de deuterio (^2H) y oxígeno-18 (^{18}O) en muestras mensuales de lluvia recolectadas en estaciones meteorológicas ubicadas en Quinta Normal, Santiago CEN La Reina, Isla de Pascua, La Serena, Puerto Montt y Punta Arenas. Además, los datos obtenidos fueron enviados al Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para su inclusión en el Anuario de Estadísticas Medioambientales. Adicionalmente, las muestras recolectadas en Isla de Pascua y Puerto Montt fueron remitidas al GNIP del OIEA para la medición de tritio (^3H), un isótopo clave para el estudio del ciclo del agua, la determinación de su edad y calidad, así como la detección de impactos ambientales o antropogénicos.

En el ámbito de difusión, y resultado del análisis isotópico de las precipitaciones, el Laboratorio de Isótopos Ambientales (LIA) elaboró un resumen de los datos obtenidos, el cual fue presentado durante las XXXIV Jornadas Chilenas de Química, organizado por la Sociedad Chilena de Química.

En el ámbito de la formación técnica, el personal del laboratorio, en su rol como muestreadores de agua tritiada, fue invitado a participar en el "Curso de Capacitación sobre Técnicas de Análisis Radiométrico en Matrices Biológicas", realizado en las instalaciones del Laboratorio de Farmacología Veterinaria (FARMAVET) de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, así como en la CCHEN.

En el año 2024, el LIA participó en el séptimo ejercicio de Comparación Interlaboratorio del Agua (WICO), destinado a laboratorios especializados en el análisis de isótopos estables en muestras de agua mediante espectrometría láser. Este ejercicio fue organizado por el Laboratorio de Hidrología Isotópica del OIEA. El ejercicio WICO 2024 permitió a los laboratorios evaluar su rendimiento analítico en el análisis de agua. Dentro de las actividades del OIEA para promover la garantía de calidad, el LIA obtuvo un destacado desempeño, con 11 de sus 12 resultados considerados satisfactorios.

- **Laboratorio de Tecnologías Experimentales (LabTex)**

En 2024, el Laboratorio de Tecnologías Experimentales participó en dos congresos científicos, presentando avances en sus líneas de investigación.

En colaboración con la Unidad de Dosimetría Personal, se expuso el trabajo "Estudio de dosimetría personal externa debida a neutrones con TLD" en el Congreso Nacional de Estudiantes de Física, organizado por la Universidad Técnica Federico Santa María en octubre de 2024. Posteriormente, en noviembre, se presentó el desarrollo de una gamma cámara portátil en el Simposio de la Sociedad Chilena de Física, realizado en la Universidad de La Frontera.

Estas contribuciones reflejan el compromiso del laboratorio con la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

- **Laboratorio de Caracterización Química-LR (LCQ-LR)**

En 2024, con el propósito de ampliar y fortalecer las capacidades analíticas del Departamento de Recursos Tecnológicos Compartidos (DRTeC), el Ministerio de Ciencias proporcionó un respaldo fundamental para la adquisición de nuevo equipamiento destinado al Laboratorio de Caracterización Química (LCQC). Gracias a esta inversión, el laboratorio incorporó un Analizador Directo de Mercurio 80-evo (DMA), que permite la cuantificación precisa de mercurio en diversas matrices. Además, se implementó un Sistema Purificador de Agua, esencial para garantizar la pureza y calidad del agua utilizada en los distintos procedimientos analíticos, contribuyendo a la fiabilidad de los resultados.

Durante el 2024 entre las principales colaboraciones del LCQC destacan las Colaboraciones con CTNEV en el proyecto "Uso de isótopos estables (133Cs y 88Sr) como herramientas de monitoreo para predecir la absorción de radionúclidos y optimizar la remediación de la contaminación en agricultura" y la Participación en una tesis doctoral de la Pontificia Universidad Católica de Chile, titulada "Movilidad y distribución de boro en plantas de cerezo bajo dos niveles de boro en el suelo".

Esta colaboración se enmarca en el convenio entre la universidad y la CCHEN, cuyo propósito es generar conocimiento y desarrollar tecnologías nucleares aplicadas a la sociedad, especialmente en la medición de la absorción y movilización de nutrientes esenciales en plantas.

Colaboraciones desarrolladas con instituciones externas destacan el Análisis para estudios epidemiológicos, cuyos resultados fueron presentados en el Congreso de Epidemiología Ambiental ISEE 2024 por la Dra. Sandra Cortés.

En el ámbito de la difusión científica y la vinculación con la comunidad, se llevaron a cabo diversas actividades, entre ellas destacan Charla a estudiantes de enseñanza media del Colegio José Joaquín Prieto y la Visita de participantes de la Escuela Regional "Liderazgo en el Ámbito Nuclear para Jóvenes Profesionales de América Latina y el Caribe".

Como parte del proceso de actualización y fortalecimiento de conocimientos, el LCQC participó en el Curso Regional de Capacitación sobre Determinación de Metales Pesados en Suelos Contaminados mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), realizado del 9 al 13 de septiembre de 2024. Esta capacitación permitió reforzar las capacidades analíticas del laboratorio, actualizar metodologías de análisis y explorar nuevas aplicaciones para la instrumentación disponible.

- **Laboratorio de Caracterización Química-LoA (LCQ-LoA)**

Durante 2024, el Laboratorio de Caracterización Química (LCQC) de la Sede Lo Aguirre llevó a cabo una significativa modernización en su infraestructura y equipamiento, con el objetivo de optimizar los procesos analíticos y experimentales, garantizando una mayor calidad, precisión y disponibilidad en los análisis. Estas mejoras fueron posibles gracias al apoyo del Ministerio de Ciencias, cuyo respaldo ha permitido fortalecer las capacidades del laboratorio y ampliar su alcance en la caracterización química.

Entre las principales actualizaciones, se destaca la adquisición e instalación de un espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), lo que requirió adecuaciones en la infraestructura para su correcto funcionamiento.

En el ámbito de formación y desarrollo profesional, destaca la participación en dos cursos organizados por ARCAL, en colaboración con el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), realizados en junio en Santa Marta, Colombia "Análisis de metales en suelos por espectroscopia de absorción atómica - llama y horno de grafito": Enfocado en la capacitación práctica para la determinación de metales en suelos mediante espectroscopia de absorción atómica, con énfasis en criterios de validación y calidad analítica y el curso "Determinación de metales pesados": Centrado en la técnica de análisis de mercurio utilizando el sistema de análisis directo DMA-80, con el propósito de estandarizar protocolos regionales para la validación y aseguramiento de la calidad en estos análisis.

Ambas instancias de formación fueron altamente valiosas, ya que fortalecieron el conocimiento técnico del equipo y promovieron la implementación de estándares internacionales en los procedimientos analíticos del laboratorio.

Otra actividad destacada fue el apoyo del equipo del LCQ en la quinta campaña de captura de neutrones, donde el personal desempeñó un papel clave en diversas tareas operativas y logísticas, contribuyendo al éxito de la iniciativa.

- **Laboratorio de Caracterización Física-LoA**

Durante 2024, el Laboratorio de Caracterización Física llevó a cabo un importante proceso de modernización con la incorporación de equipamiento de última generación. Estas mejoras fueron posibles gracias al apoyo del Ministerio de Ciencias, cuyo respaldo ha permitido fortalecer las capacidades del laboratorio y ampliar su alcance en la caracterización de materiales. Entre los nuevos instrumentos adquiridos destacan un analizador Termogravimétrico, ambos fundamentales para el estudio avanzado de las propiedades térmicas de los materiales.

Como parte de este proceso, el personal del laboratorio recibió capacitación especializada en el manejo y aplicación de estos nuevos equipos, fortaleciendo sus competencias y asegurando un uso óptimo de la nueva infraestructura. Esta formación ha sido clave para potenciar las capacidades del laboratorio y mejorar la calidad de los análisis realizados.

Uno de los hitos más relevantes de este proceso de modernización ha sido la donación de un microscopio electrónico de barrido (SEM) por parte del OIEA, un equipo de gran valor que permitirá ampliar significativamente las capacidades de caracterización de materiales. Con el fin de asegurar su correcta instalación y funcionamiento, se realizaron adecuaciones en la sala donde será emplazado, optimizando las condiciones ambientales y técnicas necesarias para su operación.

Esta donación representa un avance significativo para el laboratorio, fortaleciendo su capacidad de análisis y consolidando su posición en la vanguardia de la investigación y la caracterización de materiales.

CCHEN APOYO A LA INDUSTRIA

Calibración de equipos de radiaciones ionizantes

Actividades relevantes del período

Enero de 2024: Personal técnico de Best (ex Best Theratronics), realiza el recambio de la fuente recientemente adquirida en la unidad “Theratron Phoenix 2000 N°127” del DMRI. Esta nueva fuente de Co-60 tiene una intensidad nominal de 508,1 TBq (13733 Ci).

El DMRI mantiene su condición de “Laboratorio Designado para las magnitudes de Radiaciones Ionizantes”, de la Red Nacional de Metroología (RNM), formalizada en el “Convenio de Desempeño y Transferencia de Recursos”, INN-CCHEN.

Visita experto NRC-CNRC (Canadá): En el marco del convenio de desempeño INN-CCHEN, el laboratorio recibió la visita del experto Dr. Malcom McEwen, Principal Research Officer, Metrology Research Centre, NRC, Canadá. La visita se desarrolló desde el 18 al 22 de Noviembre de 2024.

En su calidad de Laboratorio Designado para magnitudes de Radiaciones Ionizantes, el DMRI se encuentra participando en el ejercicio de comparación interlaboratorios del Sistema Interamericano de Metroología “SIM.RI(I) K1-K4 Comparison of Air Kerma and Absorbed Dose to Water in Co-60 Fields”. En esta intercomparación participan los siguientes laboratorios/países: CCHEN (Chile), CNEA (Argentina), ININ (México), LNMRI-IRD (Brasil), MIEM (Uruguay), NIST (EEUU) y NRC (Canadá, laboratorio Piloto). A la fecha de este informe el laboratorio se encuentra en la etapa de mediciones, se espera finalizar esta etapa en el mes de Enero 2025.

Resultados actividad de continuidad

Se realizaron 314 calibraciones para usuarios externos e internos CCHEN, con el siguiente desglose:

- 130 calibraciones sector Investigación
- 112 calibraciones sector Industria
- 72 calibraciones sector salud.

CCHEN PATRIMONIO CULTURAL

Ensayos No Destructivos para patrimonio cultural y evaluaciones estructurales

La CCHEN ha continuado aplicando sus técnicas nucleares no destructivas para el estudio y preservación del patrimonio cultural de Chile. Durante 2024, se colaboró con el centro nacional de conservación y restauración (CNCR) en el análisis de tres piezas arqueológicas metálicas y 2 pinturas coloniales, utilizando técnicas como fluorescencia de rayos x, complementarias a la datación por

radiocarbono que se coordina con un laboratorio externo especializado. Estos análisis proporcionaron información invaluable sobre la composición, origen y estado de conservación de los objetos.

Por otra parte, el Centro Subregional de Ensayos No Destructivos de la CCHEN, con capacidades para el análisis de obras civiles, realizó seis importantes evaluaciones estructurales y de riesgo en infraestructuras críticas y patrimoniales, incluyendo el plinto del monumento al General Baquedano, piscinas semiolímpicas en san ramón, y en instalaciones mineras de Codelco y minera La Coipa. También, se realizó una demostración de las capacidades de este centro ante la Oficina Regional para las Américas y el Caribe de Naciones Unidas, aplicado a la reducción del riesgo de desastres y ante SENAPRED, en el marco de la postulación de la Comuna de Pudahuel a la certificación internacional de ciudad resiliente.

CCHEN REGULACIÓN NUCLEAR Y RADIOLÓGICA

Autorizaciones y fiscalizaciones

Entre las instalaciones de medicina, industria e investigación se cuenta con 560 instalaciones radiactivas bajo el control regulatorio, además de las 4 instalaciones nucleares existentes en el país.

Las instalaciones bajo el control regulatorio de CCHEN, se clasifican como:

- Instalaciones Radiactivas de Primera categoría
- Instalaciones Nucleares
- Instalaciones Radiactivas dentro de una instalación nuclear

Se cumplió en un 100% el Plan de Inspecciones 2024 (150 inspecciones programadas) para todas las Secciones:

- Sección Industrial: 42 Inspecciones.
- Sección Médica: 33 inspecciones.
- Sección CCHEN: 75 inspecciones.

Se realizaron un total de 61 inspecciones no programadas (41% del total programada):

- Sección Industrial: 22 inspecciones no programadas (52% de las programadas).
- Sección Médica: 25 inspecciones no programadas (75% de las programadas).
- Sección CCHEN y AT: 14 inspecciones no programadas (19% de las programadas).

Las inspecciones no programadas se deben a: Seguimiento de no conformidades, nuevos proyectos, incidentes, denuncias e imprevistas.

Se realizaron un total (programadas y no programadas) de 211 inspecciones a instalaciones nucleares y radiactivas a lo largo del país:

- Sección Industrial: 64 inspecciones.
- Sección Médica: 58 inspecciones.
- Sección CCHEN y AT: 89 inspecciones.

Se decretó la prohibición de funcionamiento a 14 instalaciones por no cumplimiento de requisitos regulatorios:

Resolución o Acta de Inspección: Prohibición de Funcionamiento	Fecha	Autorización	Fecha Alzamiento	Sección DISNR
AI 016/24	08/03/2024	XI 038-046-041	Suspendida	Industrial
AI 018/24	18/03/24	ID 564-034-026	17/06/24	Industrial
REX 032/2024	16/04/24	AO-RECH 1-012	23/05/24	CCHEN y AT
AI 027/24	26/03/24	GI 160-017-006	26/07/24	Industrial
AI 040/24	09/04/24	Sin autorización	08/05/24	Industrial

AI 055/24	24/04/24	II 001-037-026	26/07/24	CCHEN y AT
AI 105/24	04/07/24	II 001-037-026	26/07/24	CCHEN y AT
AI 138/24	29/08/24	XI 038-046-041	03/12/24	Industrial
AI 140/24	02/09/24	XI 185-068-064	Suspendida	Industrial
AI 152/24	25/09/24	GI 187-076-072	Suspendida	Industrial
AI 174/24	29/10/24	XI 164-026-016	Suspendida	Industrial
AI 191/24	27/11/24	GI 026-108-109	04/02/24	Industrial
REX 058/24	20/08/24	MN 036-058-050	27/08/24	Médica
REX 079/24	11/11/24	GK 001-046-042	25/11/24	Médica

Evaluaciones

- Durante 2024 se recibieron 887 solicitudes de servicio en 2024 con el siguiente desglose:
 - Solicitudes de servicio asociada a instalaciones: 244
 - Solicitudes de servicio asociada a personas: 643
- Desglose por área:
 - Solicitudes de servicio asignadas a la Sección Industrial: 408 solicitudes
 - Solicitudes de servicio asignadas a la Sección Médica: 349 solicitudes
 - Solicitudes de servicio asignadas a la Sección CCHEN y AT: 130 solicitudes.
- Las Evaluaciones comprenden las Solicitudes de Servicios de Operación, Construcción, Importación, Exportación, Cierre definitivo, Cierre Temporal, Transferencia, Transporte, Operador y Oficial de Protección Radiológica.
- Con respecto a los usuarios finales, son 1521 las personas bajo control regulatorio de CCHEN, de los cuales el 87% son Operadores y el 13% son Oficiales de Protección Radiológica (OPR).
- Del total de las solicitudes de servicio (887) se gestionaron 801 al 31 de diciembre del 2024, de las cuales se cumplieron en los plazos indicados en los términos y condiciones del servicio un total de 669 (83.5%) y 132 (16.5%) no cumplió el plazo, quedando pendientes de término de evaluación 86 solicitudes, las cuales quedaron en proceso de evaluación según los términos y condiciones del servicio, publicados en el Portal de Trámites.
- Desglose de solicitudes de servicio por secciones:
 - Sección Industrial con un total de 364 | Cumple: 287 (79%) - No cumple: 77 (21%).
 - Sección Médica con un total de 315 | Cumple: 269 (85%) - No cumple: 46 (15%).
 - Sección CCHEN y AT con un total de 122 | Cumple: 113 (93%) - No cumple: 9 (7%).

Hechos relevantes Sección Industrial:

- Se autoriza la operación de un Irradiador para el SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO.
- Se autoriza la importación, construcción y operación de cuatro (04) equipos aceleradores de partículas (camión escáner) para el SERVICIO NACIONAL DE ADUANA.
- Se autoriza la importación de dos (02) irradiadores y la construcción de sus respectivas salas de operación para el SERVICIO SALUD DE RELONCAVÍ y el HOSPITAL REGIONAL DE ANTOFAGASTA.

Hechos relevantes Sección Médica:

- Se otorgan 13 autorizaciones de construcción para nuevas instalaciones de radioterapia, con alcance nacional.
- Durante el año 2024 salieron del control regulatorio 3 instalaciones radiactivas relacionadas con las prácticas de medicina nuclear y radioterapia. Dichas instalaciones pertenecen a las ciudades de Arica, Rancagua y Talca. Previo a la salida del control regulatorio, las instalaciones realizaron solicitudes de cierre definitivo y fueron fiscalizadas a modo de verificar que las condiciones radiológicas de las instalaciones a cerrar cumplieran con la normativa nacional vigente y recomendaciones internacionales.
- Como resultado de no conformidades reiterativas y graves del servicio de medicina nuclear del Hospital San Juan de Dios y registradas en el acta de inspección AI 124/24 de fecha 8 de agosto, la DISNR emitió una resolución exenta (DISNR) N° 058/2024 en donde comunica la suspensión de la autorización de operación de la instalación y la autorización especial del OPR. Esta suspensión se prolongó hasta el 27 de agosto de 2024, fecha en que es emitida una resolución exenta (DISNR) N° 060/2024 la cual autoriza el alzamiento de dicha suspensión, previa inspección y resolución de no conformidades comprometidas por el Hospital.

Hechos relevantes Sección CCHEN y Altas Tecnologías (AT)

- Planta de Irradiación Multipropósito de CCHEN (PIM): Durante una inspección programada (AI 055/24, con fecha del 24 de abril de 2024), se evidenció la existencia de un bypass mecánico al sistema de seguridad de llenado de piscina. Lo anterior fue evidenciado nuevamente en una segunda inspección (AI 105/24, con fecha 4 de julio de 2024), en ambas ocasiones se decretó prohibición de funcionamiento de la instalación mediante acta de inspección y se propuso un Informe Técnico de Hallazgos (ITH 006/24 e ITH 010/24 respectivamente) proponiendo la respectiva investigación.
- Reactor Nuclear RECH-1: Se autorizó la operación del RECH-1 mediante la autorización N° AO-RECH1-012 válida hasta el 30 de junio de 2025, tras una exhaustiva evaluación multidisciplinaria en la que se evidenció que dicha instalación cuenta con las medidas de seguridad nuclear y radiológica, para la operación segura de acuerdo con lo señalado en la normativa nacional, incluida las condiciones y exigencias señaladas en la autorización que rige el funcionamiento actual de dicha instalación, N° AO-RECH 1-08 vigente hasta el 31 de enero de 2024, por un periodo acotado hasta que se evidencia el cumplimiento de requerimientos específicos indicados en la autorización de operación N° N° AO-RECH1-012 relacionados a un plan de acción que el explotador debe presentar para dar cumplimiento de los aspectos solicitados. Dicho plan de acción quedó sujeto a la revisión por la División de Seguridad Nuclear y Radiológica y la aprobación de la autoridad reguladora.

- Central Nacional de Abastecimiento (CENABAST): Se otorgó una autorización de importación ID 587-115- 027, con fecha 11 de noviembre de 2024, ante solicitud de CENABAST la cual se originó debido a la situación de desabastecimiento de I131 a nivel nacional. Dicha solicitud fue tramitada considerando un número importante de reuniones y gestiones a nivel de las autoridades de ambas instituciones (CCHEN y CENABAST).
- Reactor Nuclear RECH-1: Mediante el análisis de los antecedentes presentados por la instalación ante un fallo en el “sistema de indicación continua de posición de extracción de las barras de control del reactor”, el cual, constituye un evento iniciador que podría conllevar a una secuencia accidental en el reactor, el día 16 de abril de 2024 y ante la ausencia de documentación que evidencie el normal funcionamiento de la instalación, se emite de resolución exenta (DISNR) N° 032/2024 que indica la suspensión inmediata las actividades de Operación del RECH1, hasta resolver el fallo del sistema analizado y contar con evidencia de la operatividad total de los sistemas de seguridad primarios descritos en la información de licenciamiento aprobado por la CCHEN. Además, se autorizó la realización de las respectivas pruebas de puesta en marcha (pruebas preoperacionales) asociadas al mantenimiento de los sistemas del reactor.
- El 23 de mayo de 2024 se autoriza el alzamiento de la suspensión de operación del RECH-1 mediante la Resolución Exenta (DISNR) N° 044/2024 debido a que la instalación evidenció el cumplimiento de las condiciones y exigencias de la autorización.
- Reactor Nuclear RECH-1: En la operación del 13 de junio de 2024 personal del RECH-1 detectó agua en diversas zonas del edificio de contención, de las que se pudo concluir que vienen desde el techo del mismo. A su vez, en el edificio auxiliar, se detectó una gotera dentro de la sala de control, detrás de los racks de instrumentación N° 2 y N°3, y en este mismo edificio, filtraciones por las ventanas de la escalera en el sector de oficina. Ante lo anterior se procedieron a realizar las respectivas inspecciones, por parte de la DISNR, en la que se pudo constatar que no existía riesgo radiológico para las personas y el medio ambiente ya que el evento no constituye un evento iniciador de alguna situación de riesgo para la seguridad de la operación.
- En días posteriores al evento y considerando la siguiente lluvia de alta intensidad, se procedió a visitar las instalaciones del reactor, verificando que las infiltraciones no se repitieron.
- CEN La Reina: En el marco del incidente de protección física ocurrido en el Centro Nuclear La Reina el día 28 de noviembre de 2024, se realizaron las respectivas inspecciones a las instalaciones involucradas para verificar la integridad del inventario radiológico y la verificación de que los sistemas de seguridad no habrían sido vulnerados. En dichas inspecciones se evidenció que ninguna instalación radiactiva fue afectada durante el robo. Posterior a esto se solicitó, a las respectivas Divisiones de la CCHEN, informar de manera independiente a las verificaciones realizadas por la DISNR, respeto al estado de seguridad de las instalaciones nucleares y radiactivas a su cargo, específicamente lo relacionado a la verificación, por parte de las instalaciones, de la integridad del inventario del material radiactivo (o sustancia nuclear) e integridad de los sistemas de seguridad de dichas instalaciones, confirmando que la seguridad de las instalaciones nucleares y radiactivas no fue vulnerada.
- Se elaboraron ocho informes técnicos de hallazgos:

Informe Técnico de Hallazgo (ITH)	Instalación	Contenido
003/24	PEC (Planta Elementos Combustibles)	Incidente con memorista

005/24	RECH-1	Falla del sistema de indicación continua de posición de extracción de las barras de control del reactor
006/24	PIM (Planta de Irradiación Multipropósito)	Bypass manual en sistema de seguridad de llenado de piscina
007/24	CGM Nuclear	Importación I131 con autorización de importación vencida
010/24	RECH-1	Transporte de cápsulas de Trióxido De Molibdeno 99 (MoO ₃ , utilizado para producción de Tc99m), que debería haber sido de Dióxido de Teluro (TeO ₂ , para producción de I131), tal como se indicaba en los respectivos formularios
020/24	Laboratorio de Caracterización Física	Manipulación material radiactivo sin AE asociado a la práctica
022/24	Positron Pharma	Bulto encontrado en la vía pública
023/24	CEN La Reina	Hurto en CEN La Reina

- **Retiros e incautaciones:** Se realizó un retiro y una incautación en conjunto con personal de UPRO:
 - Bulto para transporte de F18 rotulado con etiqueta de transporte tipo II amarilla, es encontrado en la vía pública, en la comuna de La Florida. Dicho bulto es rescatado por personal de bomberos de la Cuarta Compañía de Bomberos de Ñuñoa. Personal de DISNR y UPRO inspeccionan dicho bulto en las instalaciones de Bomberos antes mencionadas y se procede al retiro del contenedor de transporte y se traslada a instalaciones CCHEN. El bulto pertenece a la empresa Positronpharma. El incidente fue denunciado con el N° 34889591 con fecha: 16 de diciembre de 2024. No hubo implicaciones radiológicas para las personas y el medio ambiente ya que el bulto no contenía material radiactivo.
 - Perlas con posible contenido de Urano Natural, detectadas por personal de aduana en el aeropuerto internacional de Santiago, fueron incautadas, resolución exenta N°087/2024, debido a las posibles implicaciones radiológicas. Lo anterior fue informado a través de la notificación de OPRA - CCHEN el día 05 de diciembre de 2024.

- **Sistema de Monitoreo de Riesgo:**

La sección CCHEN y AT trabajó en el plan piloto de un sistema de monitoreo de riesgo, cuyo objetivo es evaluar la seguridad radiológica de las instalaciones, de acuerdo con el cumplimiento de la normativa correspondiente, que en el caso de las instalaciones CCHEN es la NS 08.0. y para Aceleradores de Partículas (tipo Ciclotrón) es la NS 07.0.

Se estableció un criterio de categorización considerando, de acuerdo con el riesgo radiológico, cuatro categorías de incumplimiento de los aspectos regulatorios. A lo anterior se aplica un factor peso con el fin de poder cuantificar posteriormente el riesgo de incumplimiento.

Se obtiene un resultado que considera el cumplimiento del aspecto regulatorio multiplicado por el factor peso para cada elemento seleccionado previamente basado en el marco normativo.

En el año 2024, se realizaron las mediciones, en las distintas inspecciones, para tener una línea base de medición para las instalaciones CCHEN.

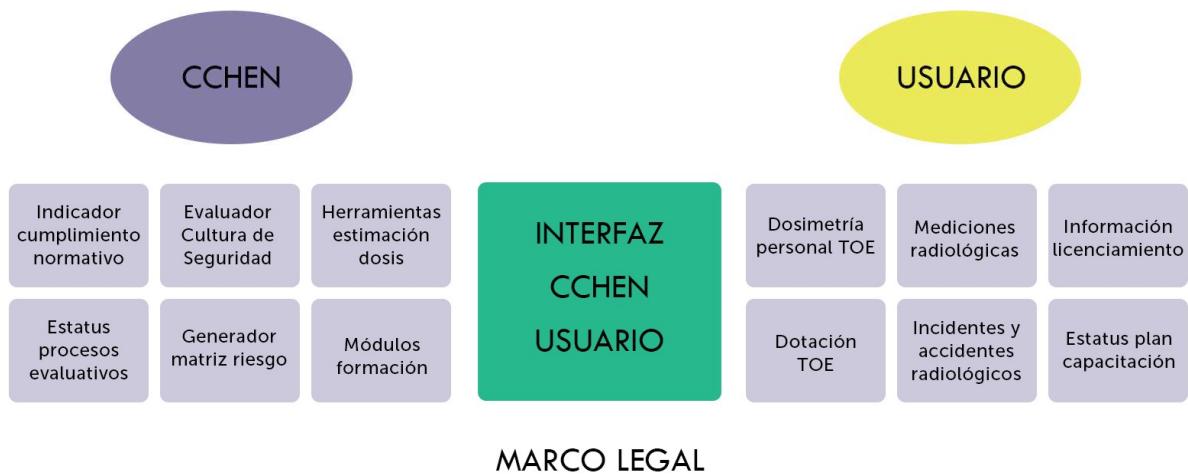
- Personal de la CCHEN (Sección CCHEN y AT) participó en la Misión de Expertos “Evaluación de las capacidades actuales y condiciones de seguridad en la producción de radioisótopos y radiofármacos”, realizada del 22 al 26 de enero de 2024, en el marco del proyecto nacional CHI9025: “Fortalecimiento de la Seguridad Nuclear y Radiológica”.
La actividad contó con la presencia de cuatro expertos internacionales especializados en producción de radioisótopos y radiofármacos, quienes trabajaron junto a profesionales nacionales para analizar la situación actual del país en esta materia.
El propósito de la misión fue abordar la creciente demanda nacional de radioisótopos y radiofármacos con fines diagnósticos y terapéuticos, desde una mirada integral y colaborativa, que incorporara las perspectivas de los distintos actores relevantes del sector. Esta instancia permitió identificar oportunidades de mejora y fortalecer las capacidades técnicas y de seguridad, contribuyendo a un desarrollo sostenible y seguro de estas tecnologías en Chile.
- Personal de la CCHEN (Sección CCHEN y AT) participó en el Taller Nacional “Radiofarmacia en el Sistema Público en Chile”, desarrollado en el marco del proyecto regional de ARCAL RLA/6/085: “Fortalecimiento de las capacidades de los centros de ciclotrones/tomografía por emisión de positrones en la región”.
La actividad fue organizada de manera conjunta por la CCHEN y el OIEA, y tuvo como objetivo promover el fortalecimiento de las capacidades nacionales en el ámbito de la radiofarmacia y su integración en el sistema público de salud.
El taller contó con la participación del Dr. Mario Marengo, experto del OIEA y especialista en operación, mantenimiento y control de calidad de sistemas y producción de centros Ciclotrón-PET, así como en equipos de instrumentación nuclear con nuevas tecnologías. Su contribución permitió profundizar en buenas prácticas internacionales y fomentar el intercambio técnico con profesionales del área en Chile.
- Personal de la sección CCHEN participó en reunión del grupo técnico de trabajo CCHEN - INVAP, en el marco del proyecto de rediseño de la planta de Producción de Radioisótopos en CEN La Reina.
- Personal de Sección CCHEN participó en el taller sobre Control de Materiales Nucleares, organizado por el Departamento de Energía (DOE) y National Nuclear Security Administration (NNSA) de Estados Unidos. En este taller los y las participantes revisaron los elementos y las medidas para la aplicación de controles eficaces de materiales nucleares para la seguridad física nuclear.

Información relevante de la División

- **Modelo de Inspección Activa**
La implementación obedece a la tendencia mundial de los agentes reguladores, a regular en base a los riesgos reales de los usuarios, optimizando con ello los recursos tanto de la autoridad sanitaria como del administrado y garantizando los máximos estándares de seguridad. (Guía OCDE para el cumplimiento regulatorio y las inspecciones).

Figura 1: Modelo de Inspección Activa.

**Aumento de seguridad en personas e instalaciones
de instalaciones fiscalizadas por la CCHEN**



Solicitudes de Autorizaciones

Nº total de solicitudes en el período: 887

Se realizó la evaluación de un total de 801 solicitudes de servicio, representadas en la siguiente tabla:

Tipo de autorización	Cantidad de SS (2024)	%
Construcción	30	3.7
Operación	55	6.9
Cierre temporal	7	0.9
Cierre definitivo	16	2.0
Importación	38	4.7
Exportación	14	1.7
Transferencia	23	2.9
Transporte	15	1.9
Operador	478	59.7
OPR	125	15.6
Total	801	100

Inspecciones

- N° de inspecciones a instalaciones sujetas a control CCHEN a nivel nacional:
Se realizaron un total (programadas y no programadas) de 211 inspecciones a instalaciones nucleares y radiactivas a lo largo del país.
- Porcentaje de inspecciones efectuadas como parte del Plan de Inspección 2024:
Cumplimiento del 100% del Plan de Inspecciones 2024 (150 inspecciones) para todas las Secciones.

Capacitaciones y participación en redes internacionales:

- Participación de Fernando Vega en el proyecto del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores denominado "Seguridad física durante el transporte interno de materiales radiactivos", que apunta a elaborar una Guía para la Evaluación de la Seguridad Física en el Transporte. Este proyecto es integrado por organismos reguladores de Argentina, Chile, Colombia, Cuba, España, México, Paraguay, Perú y Portugal, además de contar con la presencia de una representante del OIEA. Es la primera vez, en el marco de FORO, que especialistas de la región debaten en temas relacionados con la seguridad física nuclear, cumpliéndose uno de los objetivos propuestos en las bases de la creación de esta organización. Se han realizado dos reuniones presenciales en México (17-21 de abril de 2023 y 22-26 de abril de 2024) con un avance del 80% en el desarrollo de los temas, y se espera que, en la próxima reunión presencial, a realizarse en Chile, del 24 al 28 de marzo 2025, se concluya con el borrador y su posterior presentación ante el CTE del FORO. Además de estas reuniones presenciales, desde el inicio del proyecto en 2022, se han realizado 19 reuniones virtuales, siete de ellas en 2024.
- Participación de Fernando Vega en el Taller Regional para Coordinar la Implementación de Planes Integrados de Sostenibilidad de la Seguridad Física Nuclear en América Latina, realizado del 11 al 14 de noviembre de 2024, en Santiago de Chile, con apoyo del OIEA y la participación de representantes de la región y de Chile (CCHEN, Agencia Nacional de Inteligencia, Seremi de Salud y Aduanas).
- Participación de Fernando Vega como relator invitado en el Taller Nacional CPPNM/A para Venezuela (Convención de Protección Física de los materiales nucleares y su Enmienda), organizado por el OIEA, en forma virtual, el 3 de diciembre de 2024, para presentar la experiencia de Chile en la implementación de esta convención.
- Participación en la 30^a Reunión del Plenario del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO), celebrada en Paraguay, el 4 y 5 de julio de 2024. En esta actividad, el Director Ejecutivo de la CCHEN, Luis Huerta, participó del traspaso de la presidencia del FORO, desde la Autoridad Reguladora Radiológica y Nuclear (Paraguay) al Instituto Peruano de Energía Nuclear (Perú). Adicionalmente, se realizó un intercambio de experiencias, retos y desafíos de cada regulador, además de la aprobación de un posicionamiento que abarca dos temáticas de interés común, específicamente la sostenibilidad de los organismos reguladores y la mejora de la cultura de la seguridad relativa al quehacer nuclear y radiológico.
- Inicio del proyecto sobre Protonterapia, realizado en España, del 21 al 25 de octubre de 2024, en el cual participa el jefe de la División Seguridad Nuclear y Radiológica, Ciro Cárdenas. El objetivo es

desarrollar una guía de seguridad para establecer criterios para el licenciamiento y los requisitos de inspección en instalaciones de protonterapia.

- Participación en la 2^a Reunión Anual del Comité Técnico Ejecutivo de FORO, en Colombia, del 11 al 15 de noviembre de 2024, bajo la representación de Lorena Mariángel, contraparte CCHEN ante la organización. El objetivo fue revisar el estado de avance del portafolio de proyectos incluidos en el Programa Técnico de FORO, además de identificar nuevos proyectos e iniciativas de interés común.
- Participación de 10 integrantes de la División en el Seminario Web "Diseño y puesta en marcha de una instalación de protonterapia".
- Participación de cuatro miembros de la División en el 7^o Congreso Mundial de Teragnosis, realizado del 22 al 24 de marzo de 2024, en Chile.
- Participación en Taller Regional sobre Contabilidad y Control de Materiales Nucleares para la Seguridad, en Argentina, del 26 al 30 de agosto de 2024. Carlos Gutiérrez asistió al taller, organizado por el Departamento de Energía de Estados Unidos, a través de la Oficina de Seguridad Nuclear Internacional.
- Participación en el Taller Regional para Promover la Universalización de la Enmienda a la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares, al que asistió Alicia García, del 15 al 18 de octubre de 2024, en Brasil.
- Autoridad Reguladora Argentina (ARN): Durante el año 2024 se realizaron gestiones con la Autoridad Reguladora Argentina para celebrar un convenio de cooperación mutua en el ámbito nuclear específicamente lo relacionado con el proceso de cambio de instrumentación del reactor nuclear RECH-1.
- Aylinne Román participó de forma remota en la "Reunión de consulta sobre criterios de licencia y requisitos de inspección para radiofarmacias centralizadas", organizada por el OIEA, realizada en Viena entre el 9 y 13 de diciembre de 2024.

Normativa

El 27 de diciembre de 2024 se presentó a la Dirección Ejecutiva una actualización de la Resolución Exenta N°15/19, que fija requisitos aplicables a la obtención de autorizaciones especiales para el personal que se desempeña en instalaciones nucleares, radiactivas dentro de un establecimiento nuclear y radiactivas de primera categoría.

Atención usuarios(as)

Atención de consultas, solicitudes y reuniones de usuarios(as) regulados y la ciudadanía:

- Sistema OIRS: 100 consultas
- Acceso a la información: 7 solicitudes
- Ley del Lobby: 17 audiencias

CCHEN SEGURIDAD

Seguridad Radiológica Integrada

Responsable del control, gestión, evaluación y optimización de la protección radiológica, ambiental y seguridad y salud en el trabajo. Para ello desarrolla los siguientes programas, utilizando recursos propios o bajo modalidades matriciales, según conveniencia.

Protección Radiológica Ocupacional

En 2024, esta Unidad se enfocó en:

- Supervisar los sistemas para la vigilancia radiológica en instalaciones radiactivas y nucleares de la CCHEN.
- Apoyar la implementación de medidas protectoras radiológicas y nucleares en casos requeridos y calificados.
- Efectuar la vigilancia radiológica de las instalaciones en los centros nucleares por medio de sistemas de monitoreo terrestre.
- Responder y asesorar en emergencias radiológicas, a nivel interno y externo.
- Ser referentes técnicos y coordinador de Seguridad Física en el transporte de material radiactivo y nuclear entre varias organizaciones y CCHEN.
- Asesorar en materias de seguridad y protección radiológica a la Dirección Ejecutiva, a las jefaturas y funcionarios/as de la Institución.
- Efectuar capacitación, entrenamientos y ejercicios en seguridad radiológica a personal interno y externo.
- Realizar actividades específicas en el área: preparación de informes técnicos, trabajar en laboratorios y manejar instrumentación y equipamiento propios de la protección radiológica.
- Colaborar en la preparación y respuesta ante emergencias radiológicas con SENAPRED y las Ilustres Municipalidades de Las Condes y Pudahuel, abarcando tanto la capacitación como la revisión de los planes nacionales y comunales correspondientes.
- Se efectuaron 39 informes técnicos para diversas instalaciones CCHEN y dos informes técnicos a empresas externas, para 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 todo el año, permite a la CCHEN contar con dos números de emergencia, para atender llamadas de cualquier miembro de la población ante potenciales emergencias radiológicas.

En 2024, se recibieron diez llamados telefónicos, provenientes de las diferentes regiones del país, de las cuales demandaron la asesoría a distancia y también presencial del OPRA, para resolver diversas situaciones, algunas de las cuales, aun cuando no constituyan un riesgo radiológico a trabajadores(as), a las personas ni al medio ambiente, respondieron a las inquietudes de los respectivos denunciantes.

La Unidad participó en el ejercicio ConvEx-2d, organizado por el Centro de Incidentes y Emergencias del OIEA, que consiste en un simulacro destinado a poner a prueba las capacidades de respuesta ante emergencias nucleares o radiológicas provocadas por un evento de seguridad nuclear.

Contó con la participación de entidades internacionales y de los Estados Miembro del Organismo, entre los cuales destacó Chile. El ejercicio ConvEx-2d es parte de una serie de simulacros que el OIEA organiza cada tres años para evaluar y fortalecer los sistemas de gestión de emergencias internacionales, bajo los acuerdos de la Convención sobre la Notificación Temprana de un Accidente Nuclear y la Convención sobre Asistencia en Caso de un Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica. Su objetivo es garantizar que, en caso de una emergencia nuclear o radiológica originada por un evento de seguridad nuclear, los países y organizaciones internacionales activen de manera rápida y coordinada sus mecanismos de respuesta

Formación de capital humano

Se realizaron cursos presenciales de formación en protección radiológica, dirigidos a personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes que se desempeña de las diversas áreas de la CCHEN (funcionarios(as), tesisas y alumnos(as) en práctica); y a personal técnico de primera respuesta a emergencias radiológicas, como Bomberos de Chile, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), Carabineros, SAMU, Dirección de Gestión de Riesgos de Desastres de la Municipalidad de Pudahuel.

Se realizaron los siguientes cursos con sus fechas y respectivos participantes:

	Fecha	Participantes
Chatarrería / Seremi Salud Valparaíso	enero	7
Taller de Primeros Respondedores en Emergencias Radiológicas y Nucleares. DIRECTEMAR - GRI	junio	10
Taller de Primeros Respondedores en Emergencias Radiológicas y Nucleares/ Municipalidad de Pudahuel	octubre	12
	Total	29

Además, se potenció la capacitación del personal CCHEN, donde participaron 63 funcionarios(as):

	Fecha	Participantes
Curso de formación continua (DIAN. METS)	enero	1
Curso de formación continua (DIAN. Reactor)	marzo	10
Curso de formación continua (DIAN, PEC)	abril	6
Curso de formación continua (DIAN. DRTEC, y DIPS, LCC)	abril	3
Curso básico de protección radiológica 24 horas	mayo	5
Curso de protección radiológica 40 horas	agosto	16
Curso básico de protección radiológica 24 horas	octubre	18
Curso de formación continua (DIAN, DRTEC)	diciembre	4
	Total	63

Vigilancia Radiológica Ambiental

En esta área se realiza la medición y evaluación periódica de los niveles radiológicos ambientales naturales y artificiales presentes en el país, con especial énfasis en los sitios de emplazamiento de los reactores nucleares de investigación existentes, para estimación de la dosis a público y evaluar los riesgos potenciales para la salud de la población.

Además, se prestan servicios de análisis radiológico a clientes internos y externos, que requieren realizar caracterizar un variado tipo de muestras y matrices, entre las cuales se encuentran muestras de agua, alimentos y aditivos alimenticios, combustible alternativo, lodos, chatarras, entre otros.

- **Monitoreo radiológico ambiental y estimación de dosis a público**

El Sistema de Monitoreo Radiológico Ambiental en Línea se divide en: Red Nacional de Monitoreo Radiológico Ambiental, que cuenta con nueve estaciones ubicadas a lo largo de nuestro país, específicamente en Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Santiago, Concepción, Temuco y Puerto Montt. La segunda Red es la CCHEN, que cuenta con diez estaciones, y se distribuye en cinco estaciones por cada Centro de Estudios Nucleares. En 2024 su estado operativo fue el siguiente:

Tabla 20: Estado operativo de redes de monitoreo radiológico ambiental en línea.

	Red Nacional	CCHEN La Reina	CCHEN Lo Aguirre
Estaciones instaladas	9	5	5
Estaciones operativas	1	5	2
Disponibilidad	11%	100%	40%

Se procesaron 21.506.556 datos de tasa de exposición para la Red Nacional de Monitoreo Radiológico Ambiental en Línea y 13.775.326 datos de tasa de exposición para la Red CCHEN de Monitoreo Radiológico Ambiental en Línea, lo que hace un total de 35.281.882 datos procesados en 2024.

- **Medición y evaluación radiológica de muestras ambientales**

Se realizó la recolección de manera semanal de aerosoles principalmente 131I, de acuerdo con programación de producción informada por el Área de Radioisótopos de Reactor realizada en el CEN Lo Aguirre en el Laboratorio de Radioquímica y por el laboratorio de control de calidad realizada en CEN La Reina. La recolección fue realizada en periodo continuo de 12 horas de muestreo, utilizando un equipo de aspiración de aire de mediano flujo (10 – 50 pie³/min), modelo HVP-4300AFC/230, el cual utiliza un filtro de Carbón Activado (FCA) de 8" x 10". Luego de la recolección los filtros son adaptados a la geometría de conteo para ser posteriormente analizados mediante Espectrometría Gamma de Alta Resolución.

La cantidad total de filtros programados para el periodo 2024 fueron 104, de los cuales efectivamente se recolectaron y midieron un total de 130.

Tabla 21: Programación y estado de cumplimiento de mediciones CEN Lo Aguirre.

Filtros	CEN La Reina	CEN Lo Aguirre
Programados	52	65
Recolectados	52	65

Los filtros recolectados fueron mayores a los programados debido a solicitudes extraordinarias de las áreas productivas y de control, dado a reprogramación de su quehacer.

El valor de dosis equivalente estimada para el año 2024 por incorporación de ^{131}I según Centro de Estudios Nucleares es:

- Para la persona más expuesta en CEN La Reina, el valor es de 0,05 (mSv/año), lo que equivale a un 4,82 % del valor de dosis recomendado para el público según ICRP (1mSv/año) y un 0,96 % del valor que indica la normativa chilena vigente (5mSv/año).
- Para la persona más expuesta en CEN Lo Aguirre, el valor es de 0,001 (mSv/año), lo que equivale a un 0,13 % del valor de dosis recomendado para el público según ICRP (1mSv/año) y un 0,03 % del valor que indica la normativa chilena vigente (5mSv/año).

- **Servicios de análisis radiológicos**

Durante el año 2024 se prestaron los siguientes servicios:

- 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 gammagráfía 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.

Clientes externos

La cartera total de clientes durante el año 2024 fue de 31. Los servicios de análisis radiológicos estuvieron orientados a los rubros empresariales específicos, siendo un aporte a los procesos de nuestros clientes externos y a la economía nacional.

Tabla 22: Porcentaje de Análisis Radiológico por Rubro Empresarial.

Rubro Empresarial	Porcentaje de análisis
Actividades Inmobiliarias, Empresariales y de Alquiler	34,6%
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura	24,3%
Comercio Al Por Mayor Y Menor, Rep. Veh. Automotores/Enseres Domésticos	0,5%
Construcción	11,0%
Industrias Manufactureras Metálicas	2,6%
Industrias Manufactureras No Metálicas	11,7%
Intermediación Financiera	2,3%
Otras Actividades de Servicios Comunitarias, Sociales y Personales	9,3%
Otras Actividades de Servicios de Apoyo a las Empresas N.C.P.	0,9%
Pesca	1,4%
Servicios Sociales y de Salud	1,4%

Es importante destacar el impacto a nivel regional que los servicios de análisis radiológico.

Tabla 23: Porcentaje de Servicios de Análisis Radiológicos prestados por rubro y región.

Rubro Empresarial por región	Porcentaje de Servicios de Análisis Radiológico
Actividades Inmobiliarias, Empresariales y de Alquiler (Valparaíso)	1,9%
Actividades Inmobiliarias, Empresariales y de Alquiler (Región de O'Higgins)	11,7%
Actividades Inmobiliarias, Empresariales y de Alquiler (Región de Los Lagos)	0,5%
Actividades Inmobiliarias, Empresariales y de Alquiler (Región Metropolitana)	20,6%
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura (Región Valparaíso)	1,2%
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura (Región de La Araucanía)	0,2%
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura (Región Metropolitana)	22,9%
Comercio Al Por Mayor Y Menor, Rep. Veh. Automotores/Enseres Domésticos (Región Metropolitana)	0,5%
Construcción (Región Metropolitana)	11,0%
Industrias Manufactureras Metálicas (Región de Magallanes y la Antártica Chilena)	2,6%
Industrias Manufactureras No Metálicas (Región del Libertador General Bernardo O'Higgins)	0,2%
Industrias Manufactureras No Metálicas (Región de Magallanes y la Antártica Chilena)	0,2%
Industrias Manufactureras No Metálicas (Región Metropolitana)	11,2%
Intermediación Financiera (Región Metropolitana)	2,3%
Otras Actividades de Servicios Comunitarias, Sociales y Personales (Región Metropolitana)	9,3%

Otras Actividades de Servicios de Apoyo a las Empresas N.C.P. (Región de Atacama)	0,9%
Pesca (Región de Los Lagos)	0,2%
Pesca (Región Metropolitana)	1,2%
Servicios Sociales y de Salud (Región del Maule)	1,4%

En 2024 se realizaron 428 análisis radiológicos a clientes externos.

Tabla 24: Análisis radiológicos durante el año 2024.

Análisis Radiológico	Cantidad de muestras
Caracterización radiológica	11
Certificación	251
Frotis y test de hermeticidad	126
Norma chilena para agua potable (NCh409/1)	11
Estroncio-90	29

Clientes internos

Durante el año 2024 se realizaron un total de 111 análisis radiológicos por espectrometría gamma de alta resolución a, los cuales fueron solicitados por clientes internos:

Tabla 25: Clientes Internos durante el año 2024.

Cliente interno	Cantidad de muestras
Gestión Ambiental	1
Sección Irradiaciones	21
Área Producción Radioisótopos de Reactor	72
Área Producción Radioisótopos de Ciclotrón	2
DRTEC	1
Departamento de Reactores (RECH-1)	114

Seguridad Física

En 2024, se inició una actualización en CEN Lo Aguirre del equipamiento de seguridad física de la central de alarma y supervisión (CAS), la instalación de almacenamiento centralizado de desechos radiactivos y la planta de irradiación.

Las mejoras, financiadas por la Oficina para la Seguridad Física Radiológica del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, por un valor de USD 290.000, iniciaron su implementación el mes de septiembre y se espera el término durante el primer trimestre de 2025 para continuar con actividades de mantenimiento durante un período de tres años.

Se proyectaron las mejoras previstas en CEN La Reina, para su implementación en 2025, del equipamiento de seguridad física de la central de alarma y supervisión (CAS), y el laboratorio de

irradiadores.

Salvaguardias

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.

COMPROMISOS DE SERVICIO PÚBLICO

Cooperación técnica y relaciones internacionales

Cooperación Técnica con el OIEA

Actividades relevantes del período

Actividades relevantes del período	
1	En el ámbito regional se ha abordado la protección y seguridad radiológica, la mejora de infraestructura reguladora, la promoción de marcos legales nacionales, y temáticas en gestión del conocimiento, salud y protección de ecosistemas.
2	En el ámbito interregional, incluye iniciativas sobre establecimiento de marcos legales nacionales, tópicos en seguridad, salud y medio ambiente.
3	En cuanto al Programa Nacional, el país se centró en fortalecer la infraestructura nacional para la seguridad radiológica y nuclear, desarrollar capacidades en aplicaciones de ciencia y tecnología nuclear, y robustecer el sistema nacional para la verificación de autenticidad y determinación del origen de alimentos. También incluyó el fortalecimiento de la red nacional de cooperación en técnicas nucleares para programas de mejora vegetal y la generación y uso de tejidos radioesterilizados de calidad clínica para tratar patologías de alto impacto en la salud y calidad de vida.
4	Para el próximo ciclo de cooperación técnica, se encuentran en etapa de diseño las siguientes propuestas: <ul style="list-style-type: none">• Fortalecimiento de la infraestructura nacional de seguridad nuclear y radiológica.• Creación de capacidad para las aplicaciones de la ciencia y la tecnología nucleares en sectores clave.• Fortalecimiento de las capacidades nacionales de manufactura de radiofármacos liofilizados.• Contribución a la protección y cuidado de los ecosistemas Antárticos, a través del uso de técnicas nucleares y afines.

Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares

Hechos relevantes																													
Indicadores anuales plataforma web OTPCE																													
<p>Como cada año se celebraron las sesiones del GTB entre el 19 de febrero y el 1 de marzo y del 27 de agosto al 6 de septiembre de 2024 del Grupo de Trabajo B para tratar temas técnicos de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE) en el Vienna International Center, Viena, Austria. Chile tiene representación en estas reuniones a través de la Misión Permanente de Chile en Viena encabezada por el Embajador Alex Wetzig, junto a Renato Gómez, Primer Secretario; Pilar Peikoff, asistente CCHEN; y Paola García, experta que tiene un el rol de jefe de tareas en la sección "Apoyo a las Operaciones Provisionales".</p> <p>Las sesiones abordaron diversos temas técnicos y científicos relacionados con la verificación y monitoreo de los ensayos nucleares en el marco del TPCE. Entre las discusiones más relevantes estuvieron los avances en el Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) en cuanto a la sostenibilidad y la reubicación de la estación RN69 de la Antártica y los protocolos asociados a la instalación y certificación de estaciones en todo el mundo.</p> <p>La participación de Chile en esta sesión reafirma el compromiso del país con los objetivos del Tratado y con la colaboración técnica internacional en materia de vigilancia y verificación nuclear.</p>																													
<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">Tipo de informe</th><th rowspan="2">Total informes</th><th colspan="2">Estado</th></tr><tr><th>Resueltos</th><th>En progreso</th></tr></thead><tbody><tr><td>CCN</td><td>39</td><td>39</td><td></td></tr><tr><td>MR</td><td>72</td><td>72</td><td></td></tr><tr><td>OR</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>PR</td><td>105</td><td>85</td><td>20</td></tr><tr><td>Total</td><td>219</td><td>198</td><td>21</td></tr></tbody></table>				Tipo de informe	Total informes	Estado		Resueltos	En progreso	CCN	39	39		MR	72	72		OR	3	2	1	PR	105	85	20	Total	219	198	21
Tipo de informe	Total informes	Estado																											
		Resueltos	En progreso																										
CCN	39	39																											
MR	72	72																											
OR	3	2	1																										
PR	105	85	20																										
Total	219	198	21																										
Participación en la 62^a y 63^a sesiones del Grupo de Trabajo B de la Organización del TPCE																													
<p>Como cada año se celebraron las sesiones del GTB entre el 19 de febrero y el 1 de marzo y del 27 de agosto al 6 de septiembre de 2024 del Grupo de Trabajo B para tratar temas técnicos de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE) en el Vienna International Center, Viena, Austria. Chile tiene representación en estas reuniones a través de la Misión Permanente de Chile en Viena encabezada por el Embajador Alex Wetzig, junto a Renato Gómez, Primer Secretario, Pilar Peikoff, asistente de la CCHEN y Paola García, experta que tiene un el rol de jefe de tareas en la sección "Apoyo a las Operaciones Provisionales".</p> <p>Las sesiones abordaron diversos temas técnicos y científicos relacionados con la verificación y monitoreo de los ensayos nucleares en el marco del TPCE. Entre las discusiones más relevantes estuvieron los avances en el Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) en cuanto a la sostenibilidad y la reubicación de la estación RN69 de la Antártica y los protocolos asociados a la instalación y certificación de estaciones en todo el mundo.</p>																													

La participación de Chile en esta sesión reafirma el compromiso del país con los objetivos del Tratado y con la colaboración técnica internacional en materia de vigilancia y verificación nuclear.

Participación en el ejercicio progresivo (Build-Up Exercise) en Seibersdorf de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares

Del 15 al 26 de abril de 2024, se llevó a cabo el Build-Up Exercise en Seibersdorf, Austria, organizado por la División de Inspección in Situ de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE). Este ejercicio forma parte del Programa de Ejercicios de Inspecciones In Situ (IIS) 2022-2025 que tiene como objetivo la preparación y formación técnica de inspectores para futuras actividades de verificación en el marco del Tratado.

Chile estuvo representado por el inspector Gustavo González del Ministerio de Relaciones Exteriores y la inspectora Paola García de la CCHEN.

Durante el ejercicio, se realizaron actividades prácticas destinadas a fortalecer las capacidades de los equipos de inspección, destacando su importancia como preparación para el Ejercicio en Terreno Integrado (IFE26), que se llevará a cabo en Sri Lanka en 2026.

Este próximo ejercicio reunirá todas las técnicas de Inspecciones In Situ, posicionándose como un evento clave para la implementación del Tratado y la cooperación técnica entre los Estados miembros.

La participación de García y González en este ejercicio reafirma el compromiso de Chile con el fortalecimiento del régimen de inspección y monitoreo de la OTPCE, destacando su preparación técnica y activa colaboración en el ámbito internacional.

Capacitación técnica para encargados de las estaciones del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) del TPCE que operan bajo contratos de Actividades de Post-Certificación (PCA)

Del 6 al 10 de mayo de 2024, se llevó a cabo en Viena, Austria, el curso técnico “Technical Training for Station Managers of IMS stations operating under PCA contracts”, organizado por la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE).

Este programa estuvo dirigido a encargados y encargadas de estaciones del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) que operan bajo contratos de Actividades de Post-Certificación (PCA).

En representación de Chile estuvo Paulina Marambio, alumna en práctica a cargo del levantamiento de información de los contratos existentes entre la CCHEN y la OTPCE. Las estaciones chilenas ubicadas en Rapa Nui, Punta Arenas y Juan Fernández forman parte del Sistema Internacional de Vigilancia, que desempeña un papel fundamental no solamente en la detección de ensayos nucleares, sino también en la recopilación de datos científicos y civiles con múltiples aplicaciones.

Participación en el ejercicio progresivo (Build-Up Exercise) en Seibersdorf de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares

Entre el 16 de junio y el 6 de julio de 2024, se llevó a cabo el Build-Up Exercise (BUE) en Hungría, organizado por la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE). Este ejercicio, que forma parte del Programa de Inspecciones In Situ del Tratado y contó con la participación de la inspectora Paola García de CCHEN en el área de Information Control.

Este BUE 2024 consistió en la simulación de escenarios realistas para poner a prueba las capacidades de inspección in situ, como preparación para el Ejercicio de Campo Integrado (IFE26), que se llevará a cabo en 2025. El despliegue logístico incluyó casi 100 toneladas de equipos y la participación de más de 130 representantes provenientes de 42 países, cada uno desempeñando roles específicos dentro del ejercicio.

El Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares prohíbe cualquier tipo de ensayo nuclear en cualquier lugar del mundo. Para asegurar su cumplimiento, se ha establecido un sistema global de verificación compuesto por más de 300 instalaciones de vigilancia distribuidas en 89 países. Dentro de este marco, las inspecciones in situ constituyen un pilar esencial del régimen de verificación y representan el último recurso que los Estados Parte pueden emplear para recolectar datos en caso de sospecha de un ensayo nuclear.

Participación de Chile en el Día Internacional Contra los Ensayos Nucleares en Viena

El 29 de agosto de 2024, durante la apertura de la exhibición de arte del Grupo de Jóvenes de la OTPCE, titulada “CTBT: A World with Nuclear Tests vs. A World Without Nuclear Tests”, que se realizó en el marco del Día Internacional Contra los Ensayos Nucleares, asistió Paola García quien se encontraba en la participación del Grupo de Trabajo B y coincidió esta actividad que es muy importante en el área de no proliferación.

La actividad, llevada a cabo en la Rotonda del Centro Internacional de Viena, contó con la participación de destacados oradores como el Secretario Ejecutivo de la OTPCE, Dr. Robert Floyd, y representantes de las misiones permanentes en Viena de los distintos países.

Taller N° 26 de Inspecciones In Situ

Fue coordinado por la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE), tuvo lugar en Viena, Austria desde el 30 de septiembre al 4 de octubre de 2024. Este evento es una etapa clave en la preparación del Ejercicio Integrado en Terreno (IFE2026), que se llevará a cabo este año en Sri Lanka.

El taller se centró en la revisión de los ejercicios de inspección realizados en 2023 y parte de 2024. A través de sesiones plenarias y grupos de trabajo, los participantes identificaron lecciones aprendidas y elaboraron recomendaciones para mejorar las capacidades operativas de inspecciones in situ. Los temas abordados incluyeron aspectos técnicos, logísticos y estratégicos necesarios para la planificación del próximo ejercicio.

Además, la Organización, siempre invita a nuestro país a acoger alguno de los ejercicios en nuestro territorio para poder dar a conocer la envergadura de una inspección de un ensayo nuclear y mostrar

el despliegue de estos ejercicios y las medidas de verificación que se toman para la prohibición de los ensayos nucleares.

Taller Regional de Liderazgo en el Ámbito Nuclear para Mujeres Jóvenes Profesionales

Desde el 21 al 25 de octubre de 2024 en Santiago de Chile, en CEN La Reina que fue sede del "Taller Regional sobre Liderazgo en el Ámbito Nuclear para Mujeres Jóvenes Profesionales", una iniciativa organizada por la CCHEN, con el apoyo del Programa de Cooperación Técnica del OIEA, ARCAL y WIN Chile. Este taller marcó un hito importante al consolidar la creación de una escuela anual de liderazgo para mujeres profesionales jóvenes en el ámbito nuclear en América Latina y el Caribe.

El taller combinó visitas técnicas con sesiones enfocadas en el desarrollo de habilidades blandas para el liderazgo, promoviendo un sector nuclear más inclusivo y diverso.

Exfuncionarias de la CCHEN, como Azucena Sanhueza Mir y Carmen Silva, participaron en una sesión reflexiva donde compartieron sus experiencias, aprendizajes y estrategias para potenciar la participación femenina en la ciencia y la tecnología nuclear. Además, se destacaron las redes internacionales de mujeres en este campo, consolidando una unión que sigue transformando el futuro del sector nuclear.

Desde su inicio en 2019, este taller ha capacitado a aproximadamente 150 mujeres jóvenes, fortaleciendo su liderazgo y creando un impacto que continúa expandiéndose a nivel regional. Esta iniciativa es un ejemplo claro de cómo la colaboración internacional puede empoderar a las mujeres y transformar industrias clave.

Desde nuestra área del TPCE participó Yerka Padilla, abogada y profesional en gestión y administración de los contratos entre CCHEN y la OTPCE, además de Paola García, PPdC TPCE en la organización de este taller. Se espera poder aportar en este rol de liderazgo femenino en temas del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares y poder ser un referente el LAC y el mundo.

Reunión Técnica Especializada sobre operación y mantenimiento del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV)

Del 19 al 21 de noviembre de 2024, se llevó a cabo la Reunión Técnica Especializada sobre Operación y Mantenimiento del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) en Viena, Austria, organizada por la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (OTPCE). Esta reunión tuvo como objetivo abordar innovaciones y desafíos en el mantenimiento y operación de las estaciones del SIV, centrándose en dos temas principales: el diseño de portales integrados avanzados para la operación de estaciones y soluciones para el suministro de electricidad en entornos extremos.

En representación de Chile, Paola García de la CCHEN presentó propuestas de mejora para el Portal de Operador/a del SIV, destacando dos integraciones clave: seguimiento de envíos en tiempo real y generación de informes anuales integrados. Estas innovaciones buscan optimizar la supervisión y sostenibilidad de las estaciones, así como mejorar la transparencia y eficiencia en los procesos operativos.

Durante este evento, también participó en uno de los dos paneles de discusión de ambos temas para compartir las experiencias y puntos de vistas de expertos internacionales, reforzando la colaboración global en pro de mejorar los aspectos técnicos del Sistema Internacional de Vigilancia en base a experiencias.

Ciclo de Charlas TPCE de CCHEN

El área del TPCE realizó varios ciclos de charlas informativas, algunas de ellas se realizaron en formato en línea para todo público y otras se realizaron en formato presencial en algunas universidades del país. Las charlas fueron impartidas y promovidas por los encargados del TPCE en Chile, así como de expertos que compartieron sus investigaciones sobre los diversos usos de las estaciones de monitoreo. El objetivo principal de estas actividades fue divulgar los aspectos fundamentales del tratado, con el fin de acercar a la población a comprender la relevancia, alcances y beneficios que tiene la detección de los ensayos nucleares. Así, los participantes lograron conocer nuevas perspectivas y reflexionar sobre los desafíos y avances del uso de la energía nuclear.

Charla introducción al TPCE en Universidad Mayor

Esta charla fue realizada el 25 de julio en la Universidad Mayor por los encargados del TPCE en Chile para difundir el Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares. Los asistentes lograron conocer cómo se utilizan los datos y productos del SIV en las instituciones y universidades chilenas para desarrollar proyectos. Con esta actividad se busca captar el interés de la comunidad científica y civil para promover acuerdos de desarrollo con el Centro Nacional de Datos chileno.

Charla sobre la relación del Centro Sismológico Nacional con el TPCE

Esta charla fue realizada el 19 de agosto en la Universidad Mayor. En la instancia expuso Sergio Barrientos, director del Centro Sismológico Nacional (CSN), Sebastián Arriola, coordinador de la oficina de procesos y análisis del CSN en conjunto con los encargados Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (TPCE) en Chile. En la presentación se expuso sobre las estaciones del CSN y de la designación de la UNESCO al CSN como Centro de Alerta de Tsunami en el marco del TPCE. De esta forma, se destaca el rol que tiene el CSN y Chile en la detección de actividades sísmicas y tsunamis contribuyendo a la seguridad nacional e internacional. Además, se abordaron las relaciones de cooperación del CSN con otras instituciones nacionales como CCHEN y el SHOA.

Charla de invitadas internacionales I

El 12 de septiembre el Centro Nacional de Datos de Chile organizó una jornada de exposiciones en línea con dos invitadas internacionales que dieron a conocer sus investigaciones. La primera presentación fue de Jolanta Kuśmierczyk-Michulec, física teórica con doctorado en Ciencias Naturales, experta en modelado atmosférico. Trabajó en la OTPCE (2012-2024) aplicando su conocimiento en Transporte Atmosférico para la verificación del TPCE. En esta charla expuso sobre “Synergy between IMS technologies: novel perspectives for monitoring volcanic activity and investigating climate change effects”. En esta presentación se destacaron los alcances de los datos del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) de la OTPCE para estudiar los efectos del cambio

climático y la actividad volcánica. La exoficial de ciencias atmosféricas en OTPCE utilizó como ejemplos a Spitzbergen y el volcán Bogoslof en Alaska para mostrar cómo las estaciones de infrasonido, radionucleidos y modelos de cambio atmosférico pueden utilizarse para demostrar cambios ambientales.

La segunda expositora fue Elizabeth Silver, doctora en Física y Ciencias Planetarias, con experiencia en investigación interdisciplinaria y casi una década enseñando física, astronomía y ciencias de la Tierra, destacándose por su innovación pedagógica. Ella presentó “Infrasound Observations of the 11 September 2020 Earth Grazing Fireball” durante su exposición se abordó la detección y análisis de las ondas infrasonidos emitidas por meteoritos que ingresan en la atmósfera. Se utiliza como caso de estudio un meteorito que rozó la tierra el 22 de septiembre del 2020, el cual produjo ondas infrasónicas por toda Europa. La doctora Silver muestra cómo estos eventos actúan como laboratorios naturales y como las estaciones de monitoreo pueden cooperar en estudiar estos fenómenos de una forma didáctica e interactiva.

Charla de invitados internacionales II

El 29 de octubre el Centro Nacional de Datos de Chile volvió a organizar exposiciones en línea con dos destacados invitados internacionales. La primera presentación estuvo a cargo de Stefanie Donner, sismóloga especializada en procesos de fuente sísmica y sismología rotacional y es jefa de Monitoreo y Verificación en el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania, donde también evalúa datos para el Servicio Sísmico Federal y la verificación del TPCE. Expuso su trabajo sobre “The 2022 Hunga Volcano Eruption from the Multi-Technological Perspective of CTBT Monitoring”. La presentadora utilizó la erupción del volcán Hunga para destacar la importancia y potencial que tienen las estaciones de monitoreo del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV).

Posteriormente, presentó Laslö Evers, jefe del departamento de Investigación y Desarrollo en Sismología y Acústica del Instituto Meteorológico Real de los Países Bajos (KNMI), en esta charla su tema fue “Long Term IMS Infrasound Measurements as a Passive Probe for Climate Change”. En su exposición destacó el uso de las estaciones de infrasonido para contribuir al estudio del cambio climático. Las presentaciones de la cuarta y quinta charla demuestran que las estaciones del Sistema Internacional de Vigilancia, no solo cumplen la función de detectar ensayos nucleares, sino que también pueden desempeñar un papel importante que pueda contribuir al desarrollo científico nacional.

Este Ciclo de Charlas motiva a estudiantes, académicos y científicos a investigar fenómenos por medio de los datos provenientes de las estaciones y, además, representar a Chile en conferencias internacionales para presentar sus investigaciones en base a nuestras mediciones.

Convenio TPCE CCHEN y Universidad de Concepción (UdeC)

El objeto del presente Convenio Específico de Colaboración se firma el 7 de febrero de 2024 en el desarrollo de actividades conjuntas entre la CCHEN y la UDEC bajo el contexto del Programa de Impulso Científico y motiva que UDEC pueda ser una "Extensión del CND de CCHEN", lo que implica la adquisición de derechos y responsabilidades específicas. Además de promover actividades en la UDEC relacionadas al Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (TPCE) y que los

funcionarios y funcionarias de CCHEN también puedan participar de actividades de la Universidad de Concepción.

En el mismo contexto, nuestra área TPCE, realiza la inauguración el 18 de junio en rectoría de UDEC con el objetivo de fortalecer la colaboración entre ambas instituciones. El acuerdo fue firmado por el Rector de la UdeC, Dr. Carlos Saavedra Rubilar y el Director Ejecutivo de la CCHEN, Dr. Luis Huerta Torchio. En la ceremonia también participaron la Vicerrectora de Investigación y Desarrollo, Dra. Andrea Rodríguez Tastets; el Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Dr. Roberto Riquelme Sepúlveda; el Dr. José Luis Palma Lizana, académico clave en la gestión del acuerdo; y Bárbara Nagel Araya, encargada de Vinculación en I+D de CCHEN.

También se realiza una charla introductoria del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (TPCE) el 5 de agosto en la Facultad de Humanidades y Artes de la Universidad de Concepción. En la instancia participaron los encargados del TPCE en Chile, además de José Luis Palma, geólogo, y Sergio Barrientos, director del Centro Sismológico Nacional (CSN). En la exposición se explicaron los alcances del convenio firmado por la Universidad de Concepción y CCHEN para visualizar la cooperación científica entre las instituciones. Asimismo, se expuso el Tratado de Prohibición completa de Ensayos Nucleares con el fin de proporcionar información a los estudiantes, memoristas y practicantes de la universidad, con el fin de enriquecer sus trabajos. La realización de este tipo de actividades fuera de la capital contribuye a descentralizar los centros de información, acercando el conocimiento a otras regiones.

Capacitación Técnica para operadores de radionucleidos

Del 13 al 17 de mayo de 2024, en Uppsala, Suecia, se realizó una capacitación técnica para operadores de estaciones de monitoreo de radionucleidos que utilizan equipos SAUNA. Este sistema, diseñado para la detección automatizada de xenón radiactivo en la atmósfera, es clave en la vigilancia del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (OTPCE).

Chile estuvo representado por Juan Riroroko, operador de la estación en Rapa Nui, quien fortaleció sus conocimientos en la operación, mantenimiento y análisis de datos del equipo SAUNA. La participación en estas instancias refuerza la capacidad nacional para continuar contando con personal capacitado y especializado en estas materias.

Cumplimiento de Metas Institucionales

- **Compromisos de los Programas de Mejoramiento de la Gestión y de Desempeño Colectivo**

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.

A continuación, se presentan los resultados alcanzados en el cumplimiento de los indicadores PMG 2024, destacando su impacto en la gestión operativa y en la optimización de los procesos internos.

Nº	Objetivo de Gestión	Compromiso	Meta 2024	Efectivo al 31/dic	% cumplimiento	% ponderación asignada	% ponderación obtenida*
1	Gestión Eficaz	Medidas de Equidad de Género	37,5% (3/8)	37,5% (3/8)	100%	5%	5%
2	Eficiencia Institucional	Estado Verde	Hasta Etapa 2	25 requisitos técnicos cumplidos de 25	100%	25%	25%
3	Eficiencia Institucional	Concentración del Gasto Subtítulos 22 + 29	114,00% (4.805.848 .000 / 4.215.735. 000)	108,44% (4.101.051 / 3.697.941)	105,13%	20%	20%
4	Eficiencia Institucional	Desviación Montos Contratos de Obras de Infraestructura	Medir en forma correcta	0,00% (0/0)	100%	10%	10%
5	Calidad de los servicios	Calidad de Servicio y Experiencia Usuaria	Hasta Etapa 2	16 requisitos técnicos cumplidos de 16	100%	20%	20%
6	Calidad de los servicios	Transformación Digital	Medir en forma correcta	0,00% (0/22)	100%	20%	20%

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del cumplimiento de los indicadores CDC 2024, reflejando el compromiso de la institución con la mejora continua y la eficiencia en la gestión pública.

Equipos de Trabajo	Nº de personas	Porcentaje Cumplimiento Metas
División Seguridad Nuclear y Radiológica (DISNR)	18	100,0%
División Investigación y Aplicaciones Nucleares (DIAN)	70	100,0%
División Producción y Servicios (DIPS)	59	100,0%
División de Gestión y Desarrollo de Personas (DIGDP)	14	100,0%
División Corporativa	67	100,0%
Oficinas Asesoras, y Dirección Ejecutiva	47	100,0%

- **Estado Verde**

En 2024 el Programa de Mejoramiento de la Gestión (PMG) Sistema Estado Verde, llevó a cabo las siguientes actividades:

- Revisión de antecedentes y requisitos técnicos del PMG 2024 Sistema Estado Verde.
- Desarrollo de propuesta de Resolución Exenta que modifica la constitución del Comité Estado Verde, coordinación técnica y organización del Comité Estado Verde. Se realizó todo el levantamiento de información, sistematización y registro de la información requerida para el diagnóstico institucional del Sistema Estado Verde. La información requerida para la realización del diagnóstico ambiental institucional consideró antecedentes en el ámbito de la Gestión Energética, Gestión Hídrica, Gestión de Flota de Vehículos, Gestión del papel, Gestión de Bienes Muebles, Gestión de los Residuos, Traslado de Personas y Compras Sustentables. Se desarrolló un Plan de Gestión Ambiental aplicable para los años 2025 y 2026.
- El Comité Estado Verde, durante el año 2024, llevó a cabo once (11) reuniones ordinarias y tres (3) reuniones extraordinarias.
- Como hito del año 2024, a través del Comité Estado Verde y en un proceso participativo institucional, la CCHEN desarrolló y aprobó una Política de Gestión Ambiental Institucional.

- **Calidad de Servicio y Experiencia Usuaria**

El desarrollo conceptual, sistémico y práctico de la Calidad de Servicio y Experiencia Usuaria 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 2024 El Programa de Mejoramiento de la Gestión, conocido como Calidad de Servicio y Experiencia del Usuario, alcanza un cumplimiento del 100% de cumplimiento gracias al respaldo de la Dirección Ejecutiva, al liderazgo y compromiso del Comité de Calidad de Servicio, a la colaboración de los Grupos de Trabajo y a la participación activa de los funcionarios(as).

- **Compromisos de evaluación de Alta Dirección Pública**

En el marco del proceso de evaluación de la Alta Dirección Pública (ADP) 2024, la CCHEN ha fortalecido la gestión y seguimiento de los compromisos estratégicos de sus directivos, asegurando el cumplimiento de los objetivos institucionales bajo estándares de eficiencia y transparencia. La evaluación de desempeño de los altos directivos ha permitido medir el impacto de su gestión en áreas clave como la planificación institucional, la modernización de procesos y la optimización del uso de recursos.

A través de un riguroso proceso de revisión y validación, se han identificado avances significativos en la implementación de estrategias de liderazgo, desarrollo organizacional y fortalecimiento de la gobernanza institucional. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la ADP 2024, destacando los niveles de cumplimiento alcanzados y las oportunidades de mejora para el fortalecimiento de la gestión directiva.

Nº	Alto Directivo Público	Nivel	Fecha de Nombramiento	Periodo de Desempeño	Cumplimiento 2024
1	Director Ejecutivo	1	31-5-2023	Periodo 1: 31-5-2023 al 31-5-2026	100%
2	Jefatura de División Investigación y Aplicaciones Nucleares	2	1-5-2024	Periodo 1: 1-5-2024 al 1-5-2027	N/A
3	Jefatura de División de Seguridad Nuclear y Radiológica	2	7-9-2020	Periodo 2: 1-9-2023 al 1-5-2026	99%
4	Jefatura de División de Productos y Servicios	2	1-8-2023	Periodo 1: 1-8-2023 al 1-8-2026	100%
5	Jefatura de División Personas	2	24-06-2024	Periodo 1: 24-06-2024 al 24-06-2027	N/A
6	Jefatura de División Corporativa	2	01-02-2017	Periodo 3: 03-02-2023 al 03-02-2026	95%

Gestión Presupuestaria, Transferencias y Procesos Afines

Resultados relevantes

- Subtítulo 22**
Presupuesto asignado \$ 2.856.871.000
Presupuesto ejecutado \$ 2.856.870.988
- Subtítulo 29**
Presupuesto asignado \$ 849.836.000
Presupuesto ejecutado \$ 845.433.359
- Subtítulo 31**

Presupuesto asignado \$ 821.112.000
Presupuesto ejecutado \$ 810.487.939

Gestión de la Información e Infraestructura

Tecnologías de la Información y Comunicaciones

- Desarrollo de sistemas informáticos en el 2024:

Id.	Área	Requerimiento Tecnológico
1	Oficina de Cooperación Técnica y Relaciones Internacionales	Sistema Gestión de Cometidos al extranjero
2	División Corporativa	Panel de control de SLA de la Mesa de Servicios
3	División Gestión y Desarrollo de Personas	Control de procesos disciplinarios (investigaciones y sumarios administrativos)
4	Oficina Asesora de Comunicación Corporativa	Sistema OIRS v.2
5	División Producción y Servicios	Sistema de registros de producción FDG para el ciclotrón
6	División Producción y Servicios	Sistema de Gestión de Desechos Radiactivos

Actividades por continuidad:

Se realizaron de manera completa y oportuna todas las publicaciones mensuales de la institución del año 2024, dando cumplimiento a la Ley de Acceso a la Información Pública N° 20.285 - ORD N° 802/2013, la Resolución 500/2022 del Consejo para la Transparencia (CPLT) y los Oficios 870, 1220 y 166 sobre "Transparencia Activa" de los Organismos de Gobierno.

Área Seguridad de la Información

Esta área se ocupa de velar por el cumplimiento de las normativas de seguridad de la información establecidas en la CCHEN e implementar las políticas de seguridad y ciberseguridad en el marco de los lineamientos entregados por el Estado.

Las principales actividades de esta área en 2024:

- Incidentes reportados desde la plataforma del CSIRT de Gobierno: En cumplimiento de las funciones y contribuyendo de manera preventiva a las mitigaciones de las amenazas cibernéticas.
- Se monitorean constantemente todas las plataformas que operan en la CCHEN, con el fin de garantizar la seguridad y que los usuarios que usan la modalidad de trabajo remoto no generen brechas de seguridad que permitan el acceso indebido. Este último resultó ser de vital importancia. Durante el año 2024, se mantienen estas conexiones debido a los beneficios que entrega este servicio a los usuarios CCHEN, dado las instrucciones emanadas por el Estado para entregar estas facilidades a los funcionarios y funcionarias.

- La renovación del servicio CLOUD fortalece la Ciberseguridad al garantizar alta disponibilidad y redundancia, protegiendo los datos y sistemas críticos.
- La renovación del servicio de certificados SSL y la mejora en los métodos de cifrado fortalecen la seguridad de la CCHEN al garantizar comunicaciones seguras y protegidas entre usuarios y servidores.

Área de Atención al Usuario (SCAU)

La función de esta área es brindar soporte en primera línea en el ámbito de tecnologías de la información y comunicaciones, TIC. Las personas pueden solicitar soporte/servicio través de las siguientes vías: teléfono, correo electrónico, Intranet.

Resultados relevantes del periodo:

- Se recibieron 1794 requerimientos, donde un gran porcentaje fue resuelto por CAU directamente.
- Tiempo promedio de respuesta fue de 1,87 días (de un máximo de 3 días). Tiempo que se considera cuando el requerimiento no necesita el servicio de proveedores externos, tales como: garantías, adquisición de repuestos o habilitación de servicios de terceros.
- También se realizan otras tareas adicionales como:
 - Capacitación a usuario/as
 - Mantención preventiva de equipos
 - Respaldos de información
 - Instalación de software especializado asociado a adquisición de datos
 - Apoyo logístico y audiovisual a reuniones Nacionales e Internacionales, dentro o fuera de la CCHEN, si así se requiere.

Sección Soporte de Infraestructura y Redes

Resultados relevantes del periodo:

- Se participa en el diseño de topología de red, en las diferentes remodelaciones de laboratorios en el CEN La Reina y CEN Lo Aguirre, cumpliendo con las respectivas certificaciones, según norma de redes y telecomunicaciones.
- Se actualiza la infraestructura del servicio de wifi en Cen Lo Aguirre, instalándose nuevo equipamiento.

Mejoramientos

Se actualizan y mejoran equipos PC, en su hardware y software, los cuales son migrados a Windows 10 Pro y se integran a Active Directory.

Ingeniería y Mantenimiento

Resultados relevantes del periodo:

Listado actualizado de Hitos-Obras				
Ubicación	Proyecto	Infraestructura - Estado actual	Estado ejecución al 15/dic	Monto Licitación
CEN LR	Piso deportivo sala multiuso	Antigüedad y deterioro	Ejecutado	\$42.727.418
CEN LR	Remodelación de Biblioteca CEN La Reina	Antigüedad y deterioro Problemas específicos	Ejecutado	\$45.445.073
CEN LR	Habilitación laboratorio/campana SEVRA	Problemas específicos	Ejecutado	\$18.653.877
CEN LR	Remodelación de baños pasillo central	Antigüedad y deterioro	En Desarrollo con fecha de término diciembre 2024	\$25.470.446
CEN LOA	Casetas de gases Laboratorio DRTEC	Problemas específicos	Ejecutado	\$27.331.730
CEN LR	Laboratorio de tejidos	Problemas específicos	Ejecutado	\$734.807.198
CEN LR	Laboratorio de análisis por activación neutrónica	Problemas específicos	En Desarrollo con fecha de término diciembre 2024	\$397.935.403
CEN LR	Casetas de gases laboratorio LIA IRMS – EAA	Problemas específicos	En Desarrollo con fecha de término diciembre 2024	\$53.704.700
CEN LOA	Equipo espectrómetro ICP OES e infraestructura	Problemas específicos	En Desarrollo con fecha de término diciembre 2024	\$150.046.451
CEN LOA	Adecuación Sala SEM y AFM Raman	Problemas específicos	En Desarrollo con fecha de término diciembre 2024	\$105.960.218
CEN LR	Mantenimiento de transformadores eléctricos	Problemas específicos	Ejecutado	\$7.415.943
CEN LR AMUNATEGUI	Monitoreo remoto sistema contra incendio	Problemas específicos	Ejecutado	\$6.381.375

COMPROMISOS DE SERVICIO PÚBLICO

Gestión de la Investigación

Publicaciones y Producción Científica

Durante el año 2024, la CCHEN consolidó un crecimiento significativo en su productividad científica, reflejado en la publicación de 30 artículos científicos, lo que representa un aumento del 25% respecto al año 2023. Este incremento evidencia el fortalecimiento de la investigación en ciencias y tecnologías nucleares dentro de la institución.

Un aspecto destacado de la producción científica de este año es su alto impacto y calidad, con 28 de las 30 publicaciones clasificadas dentro de los primeros dos cuartiles de impacto (Q1 y Q2) en revistas científicas indexadas. Esto representa un 93% de la producción total, consolidando la relevancia y el reconocimiento internacional de la investigación realizada en la institución.

En cuanto a la distribución de las publicaciones según sus centros de investigación, el 50% de los artículos proviene del Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad, consolidándose como el mayor generador de producción científica en la institución. El 17% de las publicaciones fueron generadas por el Centro de Materiales para la Transición y Sostenibilidad Energética, mientras que tanto el Centro de Física Nuclear y Espectroscopía de Neutrones como el Centro de Tecnologías Nucleares para Ecosistemas Vulnerables, contribuyeron con un 13% cada uno.

En cuanto a la colaboración con otras instituciones, de las 30 publicaciones logradas en 2024, una parte significativa se desarrolló en conjunto con entidades nacionales e internacionales, fortaleciendo la cooperación científica y ampliando el impacto de la investigación. Estas publicaciones contaron con la participación de universidades y centros de investigación de países como España, Reino Unido, Colombia, Argentina, México, Estados Unidos, Alemania, Francia, República de Corea, Bélgica, Brasil y Polonia, reflejando el alcance global del trabajo realizado en la CCHEN.

A nivel nacional, se establecieron coautorías con instituciones como la Universidad de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad Andrés Bello y Universidad de Valparaíso, entre otras. Esta red de cooperación ha permitido fortalecer la transferencia de conocimiento, mejorar la calidad y visibilidad de las investigaciones, y consolidar la presencia de la CCHEN como un actor clave en la producción científica nacional.

Proyectos de Investigación y Financiamiento

En 2024, se continuó fomentando la participación a convocatorias de financiamiento externo, asegurando recursos para el desarrollo de las líneas de investigación que se ejecutan desde los distintos centros de investigación.

En total se postularon durante el periodo 47 proyectos a distintas fuentes de financiamiento, incluyendo aquellas promovidas por ANID, Corfo, FIA. Durante el año 2024 se adjudicaron 9 proyectos con participación de nuestra institución, asegurando un financiamiento externo total de más de \$3.700 millones de pesos para el desarrollo de investigación durante los próximos años. De estos, 4 proyectos fueron adjudicados con la CCHEN como institución principal, permitiendo fortalecer capacidades propias en I+D+i. Los 5 proyectos restantes cuentan con la CCHEN como institución asociada o colaboradora, reflejando el fortalecimiento de alianzas estratégicas con universidades y centros de investigación.

Resumen Montos Terceros por Fuente de financiamiento adjudicada 2024

Fuente de financiamiento	Monto adjudicado Fuente financiamiento	Aporte Pecuario CCHEN	Gastos Administración/Overhead
ANID/Corfo/FIA	\$2.113.142.364	\$229.877.364	\$128.568.000
ITP Corfo	\$1.500.000.000	-	-
Otros	\$91.634.000	-	-

Las iniciativas adjudicadas se enfocan en áreas estratégicas como el desarrollo de materiales avanzados, la aplicación de radiación ionizante a estudios ambientales y biotecnológicos, la aplicación a estudios de radiofármacos, la optimización de procesos de extracción del litio y la reconversión tecnológica en minería.

Destaca en el período el Taller Interno para el Concurso FONDEF IDeA I+D 2025, el cual estuvo destinado a 23 investigadores e investigadoras de la DIAN, cuyo propósito fue apoyar la postulación a fondos de investigación, promoviendo la generación de proyectos innovadores en ciencia y tecnología nuclear.

*Ver información en detallada en anexos 1, 2, 3, 4 y 5

Innovación y Transferencia Tecnológica

Durante el año 2024, la CCHEN continuó consolidando su modelo de transferencia tecnológica, asegurando que los resultados de la investigación generada en la institución se traduzcan en aplicaciones concretas para distintos sectores estratégicos. En este marco, se avanzó en la implementación del Plan de Transferencia de Resultados y Productos de la Investigación, permitiendo fortalecer la vinculación con el medio, potenciar la innovación y optimizar los mecanismos de transferencia tecnológica.

Dentro de los principales logros obtenidos en 2024, se destaca la gestión de tecnologías prospectadas con potencial de transferencia. Entre ellas, se identificaron cinco tecnologías en distintas etapas de desarrollo, con niveles de madurez tecnológica (TRL) que van desde la validación experimental en laboratorio hasta la implementación de prototipos funcionales.

Entre las tecnologías más relevantes se encuentran:

- Líquido iónico de alta capacidad térmica para almacenamiento de energía, actualmente en etapa de validación en laboratorio.
- Nuevo extractante líquido iónico para la eliminación de impurezas en salmueras de litio, con potencial de ser protegido como secreto industrial.
- Proceso electroquímico para la recuperación de cobre y fierro, en etapa de validación experimental.
- Método para inducir crecimiento vegetal mediante bajas dosis de radiación, en fase de estudio de patentabilidad.
- Proceso de embriogénesis somática para la generación de cultivos resistentes a enfermedades, en evaluación para protección intelectual.

Infraestructura Científica y Tecnológica

Durante el período 2024, la CCHEN avanzó significativamente en la modernización y fortalecimiento de su infraestructura tecnológica. Se incorporaron nuevos equipos de última generación en distintos laboratorios, optimizando las capacidades analíticas, de caracterización y experimentales. Estos avances permiten mejorar la calidad de los ensayos y fortalecer la competitividad científica de la CCHEN.

A continuación, se detallan los equipos instalados y sus respectivas aplicaciones:

Equipo instalado	Ubicación	Aplicación y beneficio
TGA 309 NETZSCH (Analizador termogravimétrico)	Laboratorio de Caracterización Física – CEN LoA	Permite estudios avanzados sobre estabilidad térmica de materiales y polímeros, clave en investigación de nuevos materiales y seguridad nuclear.
DMA (Analizador de mercurio)	Laboratorio de Análisis Químico Convencional – CEN La Reina	Potencia el análisis de mercurio en matrices complejas, apoyando estudios ambientales y toxicológicos.
HPLC (Cromatografía líquida de alta presión) con Detector Radiométrico	Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia (LIDER) – CEN La Reina	Permite la caracterización de compuestos marcados con isótopos radiactivos, fundamental para aplicaciones en farmacología y biomedicina.
Detector Radiométrico	Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Radiofarmacia (LIDER) – CEN La Reina	Permite la detección precisa de compuestos radiactivos en diferentes muestras, optimizando estudios en farmacología y biomedicina.
ICP OES iCAP PRO XP (Espectrómetro de plasma por acoplamiento inductivo)	Laboratorio de Caracterización Química – CEN LoA	Tecnología de vanguardia para análisis multielementales de alta sensibilidad, aplicable en química, minería y control de calidad.
Sistema Purificador de Agua PURELAB® QUEST	CEN La Reina	Asegura un suministro constante de agua ultrapura para análisis e investigaciones científicas de alto nivel.
Grupo Electrógeno para Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)	Laboratorio de Caracterización Física – CEN LoA	Garantiza estabilidad eléctrica para equipos de alta precisión, evitando interrupciones en los análisis.

Mejora y modernización del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN)

Durante el año 2024, se iniciaron las obras de modernización del Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica (LAAN), con el objetivo de optimizar su infraestructura y capacidades analíticas. Esta actualización permitirá una mayor precisión en el análisis elemental, fortaleciendo la detección de trazas en diversas matrices y ampliando el alcance de los estudios en áreas como medioambiente, minería, biomedicina y materiales avanzados, entre otros.

Además, la modernización del laboratorio garantizará mejoras en seguridad y eficiencia operativa. Con estas mejoras, el LAAN se posicionará como un centro de referencia en análisis por activación neutrónica, potenciando su impacto en investigación aplicada y transferencia tecnológica.

Formación y Capital Humano

La formación de personas es un pilar fundamental en el desarrollo de la I+D+i. La generación de conocimiento desde nuestras líneas de investigación requiere la capacitación de nuevos investigadores, profesionales y técnicos especializados que contribuyan al avance de estas áreas en el futuro. Durante el año 2024, se ha fortalecido nuestro compromiso con la formación de capital humano, integrando a 36 estudiantes en diversas actividades académicas, incluyendo tesis de doctorado, magíster, pregrado, prácticas profesionales y pasantías.

El impacto de esta formación se refleja en la vinculación con diversas universidades nacionales e internacionales, asegurando la transferencia de conocimientos y el fortalecimiento de capacidades en disciplinas clave como física nuclear, espectroscopía de neutrones, biomedicina, materiales avanzados y energía sostenible.

La consolidación de estas actividades se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 26 Número de estudiantes por tipo de actividad

Tipo de Actividad	Nº estudiantes
Tesis de Doctorado	7
Tesis de Magíster	7
Tesis de Pregrado	8
Memoria de título	7
Práctica profesional	4
Pasantías	3

El desarrollo de tesis de doctorado y magíster permite fortalecer las líneas de investigación prioritarias de la institución, generando avances científicos con aplicaciones concretas en el ámbito nuclear. Por otro lado, las memorias de título, pasantías y prácticas profesionales fomentan el acercamiento temprano de los estudiantes a la investigación, incentivando su especialización en áreas del quehacer institucional.

Gestión de Personas

Administración de Personal

A diciembre de 2024, la dotación de la CCHEN fue de 270 funcionarios(as), alcanzando el 89% de lo autorizado, correspondiente a 305 personas.

Distribución de funcionarios(as):

Estamento	Calidad Jurídica		Sexo	
	Planta	Contrata	Hombre	Mujer
Directivo	5	-	4	1
Profesional	11	165	111	65
Técnico	2	47	35	14
Administrativo	3	37	27	13
Auxiliar	-	-	-	-
Total	21	249	177	93

Respecto a la contratación por género, del total de personas que ingresaron a la CCHEN, 35% son mujeres y 65% son hombres.

Se revisó y actualizó, en conjunto con la Asociación de Funcionarias/os de la institución, la política de gestión de personas, incorporando un enfoque de género y formalizada a través de la REX N° 1181 de 2024.

Desarrollo de competencias

En 2024 se ejecutaron 74 actividades de capacitación para los colaboradores de la institución, por un total de 1.690 horas de capacitación efectiva.

También en el período se desarrolló un documento de actualización de las orientaciones para el proceso de detección de necesidades de capacitación, proponiendo una nueva metodología, la cual ya fue implementada a fines de 2024.

Bienestar y calidad de vida

En 2024 se entregaron 5 becas de enseñanza superior por un monto de \$4.980.380, se pagaron 112 beneficios sociales, por un monto de \$8.333.883, se gestionaron 4.397 prestaciones médicas de afiliados activos, 2.875 prestaciones médicas de afiliados pasivos y 2.235 prestaciones médicas de cargas legales, totalizando 9.507 prestaciones por reembolsos por un total de \$116.212.133.

Prevención de Riesgos

La Unidad de Prevención de Riesgos de la CCHEN coordinó y llevó a cabo en 2024, diversas actividades orientadas a fortalecer la seguridad y salud ocupacional. Entre estas acciones se incluyen capacitaciones, inducciones y la ejecución de inspecciones programadas, cuyos resultados fueron los siguientes:

- Inducción Obligación de informar: Se cumplió con la instrucción en un total de 118 personas,

distribuidas de la siguiente manera: 17 funcionarios/as, 15 alumnos/as en práctica o tesistas, y 86 contratistas.

- Inspecciones programadas / realizadas: Se programaron 4 inspecciones y todas fueron realizadas según lo planificado. 57 funcionarios/as fueron parte del proceso de evaluación y control.
- Se llevaron a cabo 7 cursos de formación dirigidos a los/as funcionarios/as. Un total de 82 funcionarios/as completaron exitosamente su capacitación.
- También se llevaron a cabo simulacros de emergencias, con el objetivo de sensibilizar a los/as funcionarios/as y fortalecer la respuesta ante emergencias. Es así como en 2024 se ejecutaron dos ejercicios de simulacro de mesa y un simulacro en instalación, tal como indica la siguiente tabla:

Tipo de Simulacro	Ubicación	Cantidad de Participantes
Simulacro de Mesa	Biblioteca, CEN la Reina	12 funcionarios/as
Simulacro de Mesa	SEGEDRA, CEN Lo Aguirre	04 funcionarios/as
Simulacro en Instalación	Edificio Sede Amunátegui	37 funcionarios/as

Estos ejercicios permiten identificar oportunidades de mejora y extraer lecciones aprendidas fundamentales para la optimización de los protocolos de respuesta ante emergencias. Los resultados obtenidos son insumos claves para la actualización y fortalecimiento de las estrategias de prevención y gestión del riesgo dentro de la institución.

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.

Los residuos industriales no peligrosos generados en ambos centros nucleares, durante el año 2024, corresponden a residuos que van dirigidos a rellenos sanitarios o reciclaje dependiendo de su composición. Durante el año 2024 se replica en CEN La Reina lo que se había implementado en el año 2023 en CEN Lo Aguirre, en cuanto a un programa de reciclaje, efectuando cuatro retiros totales en el año por cada sede abarcando materiales de tipo papel y cartón, plásticos de diferente origen, vidrios y metales de diferente origen. En cuanto a los residuos industriales no reciclables gestionados estos fueron: maderas, otros plásticos, neumáticos, material vegetal y escombros. A lo que se resume que durante 2024 se gestionaron un total de 7.971 Kg Residuos Reciclados y 124.235 kg de Residuos No Reciclados.

En cuanto a los residuos industriales peligrosos generados en ambos centros nucleares, en 2024 se generaron 149 kg de residuos sólidos, 820 kg de residuos Líquidos, 298 kg de aceites usados, 57 kg de tubos fluorescentes, 219 kg de residuos biológicos y cortopunzantes, 480 kg de baterías de plomo 480 y 4.350 kg de residuos electrónicos.

Junto con la gestión de los residuos de las instalaciones generadoras y su posterior disposición final, se ejecutaron inducciones, capacitaciones y la difusión por diferentes medios de propaganda que van enfocadas en la aplicación de mejoras para la ejecución del programa de reciclaje y como así también a los procesos de la gestión ambiental.

Auditoría y Control Interno

Durante el año 2024 se concretó el 90% de las actividades planificadas, correspondiente al cumplimiento de los objetivos gubernamentales y ministeriales en materia Institucional.

Adicionalmente, junto con el desarrollo de las actividades contempladas en el Plan Anual de Auditoría Interna 2024, se destacan 2 hitos importantes:

- CCHEN forma parte de las instituciones piloto en la implementación del SAI – Sistema de Auditoría Interna, provisto por la Contraloría General de la República, consistente en un Gestor Documental que permite el registro y monitoreo del desarrollo de las auditorías, el cual se encuentra en etapa de evaluación por parte de CGR y deberá profundizarse durante el año 2025.
- Se desarrollaron las Fases III y IV del Proyecto de Implementación del Programa de Aseguramiento para Mejora Continua del área de Auditoría Interna (PAMC). En el año 2025 se trabajarán las Etapas V y VI con orientación en las Normas Globales de Auditoría Interna que corresponden a recomendaciones para guiar la Práctica Profesional de la Auditoría Interna de alta calidad a nivel institucional. Incluye un plan de Capacitaciones liderado por el Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno, en su calidad de organismo técnico y que contempló en este período tres grandes materias:
 - Informe de Diagnóstico de brechas.
 - Actualización de Código de Ética de la Oficina de Auditoría.
 - Elaboración de Manual de Auditoría Interna.

Actividades de continuidad

Las revisiones de auditoría interna se abocaron a probidad administrativa, gestión de riesgos, operaciones financiero-contables, ciberseguridad y requerimientos del Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno.

- Cumplimiento de Objetivos Gubernamentales de Auditoría Interna:

Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 1: Actividades asociadas a la Probidad Administrativa.

- Aseguramiento al Proceso de Compras Públicas (diciembre 2024).
- Cumplimiento de las instrucciones sobre buen uso de los recursos fiscales: Reportabilidad trimestral con corte al 31.12.2023; 31.03.2024; 30.06.2024 y 30.09.2024.

Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 2: Evaluación de los Sistemas de Control Interno, ponderando las

observaciones y recomendaciones de la Contraloría General de la República.

- Aseguramiento de Control Interno basado en el Marco Integrado de Control Interno COSO III, versión 2013 (Julio 2024).

Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 3: Acciones de mantención y mejoramiento de las actividades asociadas al Proceso de Gestión de Riesgos.

- Aseguramiento al Proceso de Gestión de Riesgos Institucional (agosto 2024).

Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 4: Elaboración de Diagnóstico sobre los hallazgos críticos y recurrentes (septiembre 2024).

Objetivo Gubernamental de Auditoría N° 5: realización de actividades asociadas a requerimientos del Consejo de Auditoría Interna General de Gobierno.

- Aseguramiento sobre Cumplimiento de Obligaciones del artículo 2° quáter de la Ley N°21.131, en el Sector Público (Ley de Pronto Pago) (marzo 2024).

- Cumplimiento de Objetivos Ministeriales de Auditoría Interna:

Mediante ORD. N°1683/2023 (26/12/2023), el Sr. Ministro de Energía estableció como Objetivo Ministerial de Auditoría Interna a desarrollarse en 2024:

- “Aseguramiento al Proceso de Ciberseguridad” (diciembre 2024).

Adicionalmente, se incluye el Cumplimiento de Actividades de Seguimiento y Rutinarias asignadas al rol de auditoría interna:

- Verificación del Cumplimiento de los Convenios de Desempeño Colectivo 2023, previo a su verificación por parte de Auditoría Ministerial.
- Requerimiento semanal sobre Quiebres de Control Institucional e Informes de Contraloría General de la República.
- Revisión y Certificación de los estados financieros del servicio de Bienestar.

Compromisos con la Gestión de Políticas Públicas

Transparencia

Durante 2024 la CCHEN recibió 102 solicitudes de acceso a la información (ley 20.285), de las cuales 98 fueron respondidas en el período. El 76% de las solicitudes respondidas se ejecutó en un plazo igual o inferior a 15 días hábiles.

Destaca en 2024, el inicio de un proyecto para actualizar la plataforma informática de la OIRS, la cual data del año 2005. Este proyecto cuenta con la colaboración de profesionales del Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la División Corporativa de la CCHEN. En dicha plataforma se reciben y registran las consultas, solicitudes de información variada, así como reclamos, felicitaciones y sugerencias ciudadanas, en el marco de la ley 19.880.

Iniciativas de Género

Durante 2024, la CCHEN comprometió acciones de comunicación y difusión interna y externa con perspectiva de género, que implicaron el desarrollo de las siguientes actividades:

- Incorporación de la perspectiva de género en las publicaciones realizadas a través de los canales digitales de la CCHEN, esto es, sitio web y redes sociales.
- Desarrollo de una campaña de reconocimiento y visibilización de la contribución de la mujer en los ámbitos de acción de la CCHEN, en el marco de la conmemoración del Mes de la Mujer en marzo de 2024.
- Promoción de un programa de mentoría vocacional de expertas de la CCHEN a niñas escolares para impulsar la mayor incorporación de mujeres a las disciplinas de STEM.
- Estas iniciativas fueron instancias que no sólo promovieron un objetivo orientado a género, sino que también buscaron fomentar el compromiso e involucramiento de funcionarias y funcionarios con la misión institucional.

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

- Incorporación de la perspectiva de género en las publicaciones realizadas a través de los canales digitales de la CCHEN, esto es, sitio web y redes sociales.

A través de esta acción se busca incorporar lenguaje inclusivo de género en todas las publicaciones que se difunden a través de los canales de comunicación institucionales, priorizando el uso de un lenguaje sin sesgo de género. Para este efecto, se considera la difusión en el sitio web y en las redes institucionales de la Institución

Para evidenciar la incorporación de lenguaje de género en las publicaciones institucionales del sitio web CCHEN, a continuación se indican dos ejemplos de las publicaciones realizadas.

Fondecyt Postdoctorado 2025: CCHEN ofrece patrocinio a investigadores e investigadoras

Publicada el 20/03/2024 | por Comunicaciones CCHEN



La Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) se encuentra en búsqueda de investigadores e investigadoras con interés en desarrollar su proyecto, en el marco del concurso Fondecyt Postdoctorado 2025 de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, abierto hasta el 25 de abril de 2024. [Ver más.](#)

CCHEN 60 años: 1º Concurso de Dibujo y Pintura

Publicada el 16/04/2024 | por Comunicaciones CCHEN



La Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) celebra un hito trascendental en su historia al conmemorar su **60º Aniversario** este 16 de abril de 2024. En ese marco, se anuncia el lanzamiento de su **1º Concurso de Dibujo y Pintura**, una iniciativa diseñada para inspirar a las mentes de los más pequeños y pequeñas a explorar y explotar su creatividad, a partir de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. Esta instancia se realiza, de manera conjunta, con **Asociación CreA** y la **Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física (SOCHEF)**.

- Desarrollo de campaña de reconocimiento y visibilización de la contribución de la mujer en los ámbitos de acción de la CCHEN, en el marco de la conmemoración del Mes de la Mujer en marzo de 2024.

Se realizó una campaña en la que se abordó el concepto #YoCreoEn, con el que se buscó reconocer a mujeres que se incorporaron al área nuclear. Se invitó a participar a todas las mujeres que ingresaron en el periodo 2023.

El concepto #YoCreoEn apuntó a poner en valor la motivación e inspiración de mujeres, que parte desde el creer y estar convencida del propósito que hay detrás de su función, dentro de su ámbito laboral específico. Es lo que las mueve a desarrollar con entusiasmo y convicción su trabajo.

Con esta campaña, que se difundió con motivo del Mes de la Mujer, se buscó, por una parte, reconocer

el trabajo de quienes se vienen integrando a la Institución, promoviendo además mostrar la diversidad de mujeres que hoy se desempeñan en la Comisión, bajo distintos cargos.

En lo que respecta al impacto externo, año a año la CCHEN desarrolla acciones de difusión con la que busca motivar a más mujeres a estudiar o a trabajar en áreas relacionadas con el ámbito de la energía, en este caso nuclear. Campañas de este tipo apuntan entonces a ejemplificar los distintos roles que las mujeres desempeñan en la industria, de modo que permita abrir aún más el abanico de posibilidades que existen en el mercado.



- Promoción de un programa de mentoría vocacional de expertas de la CCHEN a niñas escolares para impulsar la mayor incorporación de mujeres a las disciplinas de STEM.

En conjunto con Mujeres Ingenieras de Chile, se organizó un programa piloto de Mentoría Vocacional en STEM, cuyo objetivo fue concebido para reforzar las vocaciones STEM de niñas escolares que este año 2024 cursan cuarto año de enseñanza media.

La experiencia fue sumamente significativa para cada una de ellas, que tuvo la posibilidad de asistir a tres jornadas en las que interactuaron de manera personalizada con una mentora CCHEN, capacitada especialmente para la ocasión.

Durante los encuentros, las mentoras compartieron con las mentees sus experiencias personales y profesionales, orientándolas con consejos y recomendaciones para apoyar la toma de decisiones sobre su futuro académico. Al mismo tiempo, las estudiantes pudieron reflexionar sobre sus propias fortalezas, temores, sueños y aspiraciones, culminando con una sesión abierta en la que participaron también sus familias.

De este modo, logramos promover un espacio de conversación entre las alumnas, sus pares (el resto de las participantes), sus mentoras y sus familias, para fortalecer sus creencias positivas y ayudarles en su toma de decisiones.

El impacto que esto tuvo en las alumnas asistentes fue muy positivo, dado que lograron reforzar y/o tomar decisiones acerca de la carrera a seguir, que era parte de los objetivos que perseguían con su participación en esta actividad, que por primera vez realizamos en la CCHEN.

Con el objetivo de considerar sus motivaciones para participar en esta actividad, se realizó una encuesta preliminar a las estudiantes y luego, tras finalizar la mentoría, algunas de ellas quisieron compartir, a través de un video, su experiencia.

Por otra parte, cabe destacar que esta actividad tuvo, de igual modo, un impacto muy positivo en el grupo de mentoras que se motivó a participar en esta experiencia piloto. A ellas, al igual que a las mentees, se les aplicó una breve encuesta para conocer sus motivaciones. Tras la actividad, algunas de ellas también grabaron un video contando cómo habían vivenciado esta actividad.

Todos estos videos fueron publicados en Historias de Instagram de la CCHEN.

Otro aspecto a considerar es que se tomó la determinación de incluir a las familias de las alumnas, a quienes se invitó a la ceremonia de cierre, de modo que tuvieran la posibilidad de escuchar la experiencia de sus hijas en el encuentro y conocer a las mentoras CCHEN que las acompañaron en este “viaje”.





Foto 20: Ceremonia de cierre de la mentoría, a la que se invitó a familiares de los estudiantes.

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.

Redes nacionales e internacionales

- Red Latinoamericana de Dosimetría Biológica (LBDNet). En 2024 se realizaron las siguientes actividades:
 - Ejercicio de intercomparación ensayo de dicéntricos + cafeína: Se analizaron imágenes digitales para tres puntos de dosis incógnitas. Los resultados del laboratorio fueron satisfactorios para las tres dosis. Los resultados de este ejercicio fueron enviados a publicar en la revista International Journal of Radiation Biology, el cual se encuentra en revisión.
 - Publicación: Publicación de artículo científico asociado a los resultados de un ejercicio de intercomparación del ensayo de dicéntricos mediante el análisis de imágenes digitales en la revista International Journal of Radiation Biology en abril de 2024.
 - Representación Internacional: En Agosto 2024, en coordinación con el Incident and Emergency Centre del OIEA, se logró la incorporación de la LBDNet en la Red de Protección Radiológica Ocupacional, ORPNet, asociada al OIEA.
- Red Internacional de Enseñanza y Capacitación en Preparación y Respuesta para Casos de Emergencia (iNET-EPR). CCHEN es contraparte nacional de esta red, colaborando a la realización de las siguientes actividades:

Capacitación a Primeros Respondedores:

Durante el año 2024, se llevaron a cabo varias sesiones de formación y entrenamiento para primeros respondedores, en las cuales se incluyó el personal de:

- Policías de Investigaciones: Capacitación en técnicas de respuesta ante emergencias y coordinación interinstitucional.
- Bomberos de Chile: Entrenamiento en manejo de crisis, rescate y técnicas de primeros auxilios en situaciones de alto riesgo.
- Carabineros: Formación en protocolos de respuesta rápida ante desastres naturales y emergencias de seguridad pública.
- DIRECTEMAR (Dirección General del Territorio Marítimo y de la Marina Mercante): Capacitación enfocada en la respuesta ante emergencias en áreas marítimas y costeras. Estas capacitaciones se encuentran consideradas en la formación de estos oficiales y del Grupo de Respuesta Inmediata (GRI).
- Municipalidad de Pudahuel: Entrenamiento en planes de acción local para emergencias, evacuación y manejo en la respuesta. En este entrenamiento participó la Dirección de Gestión de Riesgos de Desastres, compuesto por Carabineros, Seguridad ciudadana, SAMU, Bomberos, DGAC.
- CCHEN: Formación técnica en la gestión de riesgos en las instalaciones y revisión en los planes de respuesta ante emergencias. Se realizó capacitación especializada en algunas instalaciones en específico (producción de radioisótopos, reactor de investigación RECH-1).

Además, el año 2024 se potenció la capacitación del personal CCHEN, donde participaron 63 funcionarios/as en los diversos ámbitos de la protección radiológica.

Ejercicios y Simulacros de Emergencia: Realización de simulacros conjuntos con diversas instituciones, para poner en práctica las habilidades adquiridas y mejorar la coordinación durante una crisis real:

- Jornada de simulacro preparada para la Ilustre Municipalidad de Pudahuel.
- Ejercicio Convex 2d, Ejercicio de mesa entre el OIEA y los estados miembros del sistema de notificación USIE (Unified System for Information Exchange).
- Actividad demostrativa que desarrolla CCHEN con la Escuela de Emergencia desarrollada en Argentina 2024 Autoridad Reguladora Nuclear (ARN), DOE y el OIEA.

Sesión Práctica Escuela de Emergencias 2024:

Se participó en la tercera edición de la Escuela de Gestión de Emergencias Radiológicas en la ciudad de Buenos Aires, Argentina. El evento, organizado por la Autoridad Reguladora Nuclear (ARN) y auspiciado por el OIEA, reunió a expertos en la materia para actualizar y compartir conocimientos sobre gestión de emergencias nucleares. CCHEN participó activamente a través de una sesión práctica y a distancia sobre el uso de los sistemas SPARCS/iAVID, realizando una demostración con el equipo SPARCS de Argentina y presentando mediciones en tiempo real desde el equipo de Chile.

Actualización de Protocolos de Emergencia:

Revisión y actualización de los protocolos de actuación en respuesta ante emergencias, alineados con las mejores prácticas internacionales. Esto es a través de los planes de emergencias de las instalaciones CCHEN y los centros nucleares.

- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Nucleares y Radiológica (FORO). En el marco del FORO se participó en las siguientes actividades:
 - 30^a reunión del Plenario del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO), realizada en Asunción-Paraguay, del 4 al 5 de julio de 2024. Participa el Director Ejecutivo de CCHEN, Sr. Luis Huerta Torchio, en el traspaso de la presidencia del FORO, desde la Autoridad Reguladora Radiológica y Nuclear de Paraguay al Instituto Peruano de Energía Nuclear. Se realiza un intercambio de experiencias, retos y desafíos de cada regulador, y la aprobación de un posicionamiento que abarca dos temáticas de interés común, específicamente la sostenibilidad de los organismos reguladores y la mejora de la cultura de la seguridad relativa al quehacer nuclear y radiológico.
 - Inicio del Proyecto sobre Protonterapia, realizado en Madrid-España, del 21 al 25 de octubre de 2024. Participa el Jefe de la División Seguridad Nuclear y Radiológica, Sr. Ciro Cárdenas E., cuyo objeto es el desarrollo de una guía de seguridad para establecer criterios para el licenciamiento y requisitos de inspección en instalaciones de protonterapia.
 - Segunda reunión anual del Comité Técnico Ejecutivo (CTE) del FORO, realizada en Bogotá-Colombia, del 11 al 15 de noviembre de 2024. Participa Lorena Mariángel, contraparte de CCHEN ante dicha asociación de reguladores, la actividad tuvo por objeto revisar el estado de avance del portafolio de proyectos incluidos en el Programa Técnico del FORO, además de identificar nuevos proyectos e iniciativas de interés común.

Convenios firmados en el periodo

- Convenios nacionales:

Contraparte contrato	Nº Resolución	Descripción
Municipalidad de Pudahuel	005/2024	Contribución en el intercambio de conocimientos a escala local, en materia de procesos de mitigación, preparación, respuesta y rehabilitación de la Gestión de Riesgos de Desastres en la comuna de Pudahuel.
Universidad Autónoma de Chile	007/2024	Convenio Marco de Cooperación con el fin de promover la cooperación académica y el intercambio científico y técnico entre ambas instituciones, fomentando el desarrollo de líneas de docencia, capacitación e investigación en áreas que sean consideradas de mutuo interés.
Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile	031/2024	Convenio marco de cooperación para colaborar en materias afines a ambas instituciones, asesorar y apoyar con recursos materiales y humanos para lograr objetivos específicos de cada institución.
Vicerrectoría de Extensión y Comunicaciones de la Universidad de Chile	052/2024	Convenio marco de cooperación en vinculación con el medio, extensión y divulgación; I+D en el campo propio de ambas partes; historia y patrimonio cultural.
Universidad de Concepción	057/2024	Convenio de colaboración entre el Centro Nacional de Datos y la Universidad para actividades de docencia, desarrollo de investigación, capacitación, promoción y divulgación científica en beneficio de ambas instituciones.
Instituto Forestal (INFOR)	097/2024	Convenio específico de cooperación científico tecnológico.
Centro de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud (CENABAST)	116/2024	Convenio de colaboración para garantizar el abastecimiento de radioisótopos a nivel nacional.

- Convenios internacionales

- MoU en Lito.

La CCHEN firmó Memorándum de Entendimiento con el OIEA en temas relacionados a Litio. El MoU tiene como propósito establecer un marco de cooperación en la aplicación de la tecnología nuclear en la industria minera sostenible y en el desarrollo de aplicaciones del litio en la energía nuclear, en el contexto de la iniciativa Atoms4NetZero, impulsada por el OIEA.

- MoU en Microplásticos.

La República de Chile y el OIEA firmaron un Memorando de Entendimiento con el fin de establecer un marco de cooperación en el área de la tecnología nuclear para el control de la contaminación por plásticos. En este marco, se comenzó a elaborar un plan de trabajo a nivel nacional para realizar un levantamiento de línea base del estado de los microplásticos en la Antártica. En esta primera etapa del proyecto participarán INACH, el Laboratorio de Toxinas Marinas de la Universidad de

Chile y CCHEN, con el apoyo del OIEA.

- Convenio con Nuclear y Texas A&M AgriLife Research.

Se firmó un Convenio de Colaboración entre la CCHEN y Texas A&M AgriLife Research, a través de su Centro Nacional de Investigación de Haz de Electrones (NCEBR). Este tiene como propósito principal fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico en la aplicación de la tecnología de haces de electrones (eBeam). Este acuerdo busca fortalecer la cooperación en el estudio y desarrollo de métodos de esterilización industrial con tecnología eBeam, promoviendo su implementación en Chile y en la región. El convenio establece las bases para futuras colaboraciones específicas y facilita el acceso a infraestructura, equipos y recursos humanos especializados, con el objetivo de maximizar el impacto de esta tecnología en beneficio del desarrollo científico y tecnológico del país.

- National Nuclear Security Administration (NNSA).

En el marco del convenio de cooperación existente con NNSA, entre el 5 y 9 de agosto de 2024 se llevó a cabo el taller NMAC sobre el control de materiales nucleares. En este participaron profesionales de CCHEN quienes recibieron formación en mejores prácticas y procedimientos para asegurar el control de acceso al material nuclear, detectar toda pérdida o desviación y asegurar la integridad de sistemas y medidas. De forma adicional se trabajó en un plan de acción, con apoyo NNSA, para implementación de mejoras y optimización.

- Actividades de colaboración con NRC.

En el marco del convenio de cooperación existente con NRC, durante el año 2024 se realizaron reuniones de trabajo con dicho organismo de modo de delinear un programa de trabajo conjunto para fortalecer capacidades en el Reactor y DiSNR. Se identificaron actividades de apoyo del NRC a la Comisión las cuales se irán desarrollando según las prioridades establecidas.

- Actividades de colaboración con el Departamento de Energía de EEUU (DOE) a través del Sandia National Laboratories (SNL).

Se recibió una visita de profesionales de la Office of Radiological Security (ORS) de Sandia National Laboratories (SNL) con el objeto de verificar en terreno actividades que se encuentran apoyando para el mejoramiento de la capacidad tecnológica para el reforzamiento de la seguridad física de instalaciones en CCHEN. En particular; con apoyo DOE, se inició la implementación de equipamiento en la Central de Alarmas y Vigilancia, la Instalación de Almacenamiento Centralizado de Desechos Radiactivos y en la Planta de Irradiación Multipropósito. La implementación comenzó en el mes de septiembre y se espera el término durante el primer trimestre de 2025 para continuar con actividades de mantenimiento durante un período de tres años.

Actividades de divulgación y educación

- Seminario para Periodistas, Estudiantes de Periodismo y Comunicadores/as: "A 50 años de la primera fisión nuclear en Chile".

Este seminario se ejecutó los días 03, 10, 16 y 17 de octubre de 2024 y tuvo por objetivo dar a conocer y comprender el quehacer llevado a cabo por la CCHEN y las aplicaciones de las radiaciones ionizantes,

sus resultados, sus servicios y los desafíos futuros, así como los aspectos históricos del primer reactor nuclear de investigación del país y sus aportes de valor público a lo largo de sus años de existencia, bajo el enfoque de que en 2024 la CCHEN conmemoró 60 años de existencia y 50 años desde la primera puesta a crítico del RECH-1.

El seminario, que contó con la participación de 16 personas, estuvo dirigido a periodistas en ejercicio, estudiantes de periodismo, comunicadores/as de las ciencias y/o profesionales que trabajan en vinculación con el medio, a nivel gubernamental y de universidades. La modalidad fue híbrida. Las ponencias de relatores y relatoras se realizaron en forma virtual en tres medias jornadas. También se ejecutó una media jornada presencial para que los y las asistentes visitaran el CEN La Reina (RECH-1 y Laboratorios de Física de Plasmas).

Los contenidos del seminario y los relatores fueron los siguientes:

- “CCHEN, 60 años de Investigación, Desarrollo y Servicios a la Comunidad”
Relator: Dr. Luis Huerta, Director Ejecutivo de la CCHEN.
- “Estrategias de Comunicación, Canales y Actividades para Divulgar e Informar sobre la Energía Nuclear”
Relatora: Sra. Laura Escribano, Directora de Comunicación del Foro de la Industria Nuclear Española.
- “Inicios de la Energía Nuclear en Chile”
Relator: Sr. Ariel Saavedra, historiador, académico del Instituto de Historia de la Universidad de Los Andes y Doctorando de la misma casa de estudios superiores.
- “50 años: La contribución científica y tecnológica del reactor nuclear de investigación RECH-1”
Relator: Sr. Luis Manríquez, jefe del reactor de investigación RECH-1.
- “El Estado de la Comunicación Científica en Chile”
Relatora: Andrea Obaid, Presidenta de la Asociación Chilena de Periodistas y Profesionales para la Comunicación de la Ciencia (ACHIPEC).
- “30 años de Investigación en Física de Plasmas en la CCHEN: Logros de la Investigación y Experiencias en la Divulgación”
Relator: Dr. Leopoldo Soto, Investigador del Centro de Investigación en la Intersección de Física de Plasmas, Materia y Complejidad. También se realizó una visita presencial a los Laboratorios de Física de Plasmas.
- “Experiencias en la Comunicación de la Investigación y lo Nuclear”
Relator: Dr. Gonzalo Avaria, investigador y académico de la Universidad Técnica Federico Santa María.
- Visitas a los Centros Nucleares

En 2024 la CCHEN, por medio de su programa de visitas guiadas, atendió en sus centros nucleares a 591 personas, de 29 delegaciones provenientes de universidades estatales y privadas, empresas, institutos de investigación y educación, así como academias.

- **Charlas en Colegios y Taller AtomZoom**

En 2024, 1152 alumnos y alumnas participaron en charlas de ciencia y tecnología nuclear y de radiaciones, realizadas en sus colegios. Se abarcó 20 establecimientos de dos regiones. La CCHEN apuesta por aumentar una concreción efectiva de vocaciones stem en escolares, a través de estudios superiores y futuros y futuras profesionales involucrados directa e indirectamente con el sector nuclear y radiológico. Para ello, dedicamos más de 100 horas de expertas y expertos CCHEN dirigidas a mentorías y al Taller AtomZoom de orientación vocacional, para 23 jóvenes de educación media con interés en carreras STEM, provenientes de tres regiones, aplicando criterios de inclusividad de género y de neurodiversidad.

- **Día de Puertas Abiertas**

El 25 de mayo de 2024, la CCHEN abrió sus puertas, en el marco de la conmemoración del Día de los Patrimonios. De este modo, 140 personas tuvieron la oportunidad de conocer y recorrer las instalaciones del Centro de Estudios Nucleares La Reina. Cabe destacar que la actividad contó con la presencia del Subsecretario de Energía, Sr. Luis Felipe Ramos.

El público pudo conocer las instalaciones del reactor de investigación RECH-1, donde fue recibido por el personal a cargo, quienes acompañaron a los asistentes en la sala de control, la plataforma y la piscina del reactor, que alberga el núcleo donde ocurren los procesos de fisión nuclear. El paso siguiente del circuito fue el mural “La Energía Nuclear Creadora” del reconocido artista nacional Eduardo Martínez Bonati.

- **Proyecto Biblioteca Rotativa**

Enfocado en la comunidad CCHEN, esta iniciativa busca difundir material institucional mediante una muestra itinerante de recursos bibliográficos y materiales temáticos, promoviendo el acceso al conocimiento en distintos ámbitos de la investigación nuclear. En su primera versión, desarrollada en 2024, se ha montado una muestra representativa del hito de 60 años de existencia institucional, destacando la evolución y los principales logros de la CCHEN a lo largo de su historia.

ANEXO 1

Publicaciones científicas

Cuadro resumen del número de publicaciones por cuartil

Año	Q1 (Alta Calidad)	Q2	Q3	Q4 (Baja Calidad)	Sin Cuartil	Total Publicaciones
2024	22	6	0	0	2	30

Cuadro detallado de publicaciones aceptadas (Página Siguiente)

Nº	Centro I+D	Nombre Artículo	Autores/as	Autor(es/as) CCHEN	Revista	Fecha Aceptación	DOI	Cuartil
1	CEFNEN	High performance fluoroelastomer composites filled with graphite and/or bismuth oxide for applications in gamma-ray shielding	Santiago Maldonado, Ernesto Águila, Mehrdad Yazdani, Pablo Fuentealba, Ángelo Contreras, Allan Bascuñán, Gabriela Álvarez, Alejandro Zagal, Francisco Molina, Marianella Hernández, Héctor Aguilar	Francisco Molina	Polymer Composites	8/02/2024	doi.org/10.1002/pc.28237	Q1
2	CEFNEN	Design and Study of Novel Composites Based on EPDM Rubber Containing Bismuth (III) Oxide and Graphene Nanoplatelets for Gamma Radiation Shielding	Gabriela Álvarez, Francisco Molina, Bruno Urbano, Mohamed Dahrouch, Marianella Hernández, Miguel López, Raquel Verdejo, Héctor Aguilar	Francisco Molina	Polymers	22/02/2024	doi.org/10.3390/polym16050633	Q1
3	METS	Recovery of Valuable Metals from Copper Tailings of the III and IV Regions of Chile, through Leaching Processes and the Use of Surfactants	José Joaquín Hernández	José Joaquín Hernández	Proceedings	22/03/2024	doi.org/10.3390/proceedings2024105078	Sin cuartil
4	P2mc	Non-Thermal Solar Wind Electron Velocity Distribution Function	Peter H. Yoon, Rodrigo López, Chadi S. Salem, John W. Bonnell and Sunjung Kim	Rodrigo López	entropy	27/03/2024	doi.org/10.3390/e26040310	Q2
5	CEFNEN	Transient Monte Carlo simulations with OpenMC(TD): A catalyst towards advancing research in next-generation reactors and to improve fission nuclear data	Jaime Romero, Francisco Molina, Marcelo Zambra, Franco López	Jaime Romero, Francisco Molina, Marcelo Zambra	Nuclear Engineering and Design	01/04/2024	doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113189	Q1
6	P2mc	Boundary of the distribution of solar wind proton beta versus temperature anisotropy	Peter Yoon, Marian Lazar, Chadi Salem, Jungjoon Seough, Mihailo Martinovic, Kristopher Klein, Rodrigo López	Rodrigo López	Astrophysical Journal	02/05/2024	doi.org/10.3847/1538-4357/ad47f1	Q1
7	DiPS	LBDNet interlaboratory comparison for the dicentric chromosome assay by digitized image analysis applying weighted robust	Jorge González, Diego Alem, Fabio Chaves, Fernando Ortiz, Luisa Valle, Melissa Abarca, Valentina Verdejo, Marina Di Giorgio, Analía Radl, María Rosa Taja, Mayra Deminge,	Valentina Verdejo Analía Radl	International Journal of Radiation Biology	13/05/2024	doi.org/10.1080/0955302.2024.2356556	Q2

		statistical methods	Ana Rada Tarifa, Erika Lafuente, Fabiana Farías, Suy Hwang, Mariana Esposito, Tania Mandina, Gabriela Muñoz, Yolanda Guerrero, Carolina Arceo, Norma Monjagata, Sara Aguilar, Marco Espinoza, Aida Falcón, María Di Tomaso, Bret Holladay, Omar García, Wilner Martínez					
8	P2mc	Magnetic Spectra Comparison for Kappa-distributed Whistler Electron Fluctuations	Daniel Hermosilla, Pablo Moya, Bea Zenteno, Rodrigo López	Rodrigo López	Astrophysical Journal	21/05/2024	doi.org/10.3847/1538-4357/ad500d	Q1
9	METS	Synthesis and Optical Properties of a Novel Hybrid Nanosystem Based on Covalently Modified nSiO ₂ Nanoparticles with a Curcuminoid Molecule	Nicole Parra, Valentina López, Rodrigo Espinoza, Daniel Aravena, Nancy Pizarro, Mónica Soler	Nicole Parra	Nanomaterials	31/05/2024	doi.org/10.3390/nano14121022	Q1
10	P2mc	On the foundations of the maximum entropy principle using Fenchel duality for Shannon and Tsallis entropies	Pierre Marechal, Yasmín Navarrete, Sergio Davis	Sergio Davis	Physica Scripta	07/06/2024	doi.org/10.1088/1402-4896/ad55b8	Q2
11	METS	Potentiometric titration study of CaCO ₃ scaling control with non-water soluble polyetherimide and sulfonated polyetherimide films	Estefanía Correa, Nicole Butto, Nicole Parra, Adriana Blanco, Alejandra Santa, Felipe Díaz, Mehrdad Yazdani, Gustavo Cabrera, Carlos Ostos, Francisco Gracia, Andrónico Neira	Nicole Parra	Desalination	25/06/2024	doi.org/10.1016/j.desal.2024.117882	Q1
12	P2mc	A superstatistical measure of distance from canonical equilibrium	Sergio Davis	Sergio Davis	Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	27/06/2024	doi.org/10.1088/1751-8121/ad5caa	Q1
13	P2mc	The role of the thermal properties of electrons on the dispersion properties of Alfvén waves in space plasmas	Nicolás Villarroel, Pablo Moya, Rodrigo López, Daniel Verscharen	Rodrigo López	Astronomy & Astrophysics	02/07/2024	doi.org/10.1051/0004-6361/202449471	Q1

14	P2mc	Plasma-induced damage on the tungsten surface using a kilojoule plasma focus device: Applicable to study the damages on nuclear fusion reactor related materials	Jalaj Jain, Marcos Carrasco, José Moreno, Sergio Davis, Cristian Pavez, Biswajit Bora, Leopoldo Soto	Jalaj Jain, José Moreno, Sergio Davis, Cristian Pavez, Biswajit Bora, Leopoldo Soto	Physics of Plasmas	17/07/2024	doi.org/10.1063/5.0211839	Q1
15	P2mc CEFNEN	Ambient neutron dosimetry in high energy and pulsed neutron fields	Ariel Tarifeño, Francisco Calvino, Alfredo de Blas, Bendetta Brusasco, Adria Casanovas, Ana Cives, Guillem Cortés, Roger García, Francisco Molina, Nil Mont, Max Pallas, Cristian Pavez	Francisco Molina, Cristian Pavez	Radiation Physics and Chemistry	30/07/2024	doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.112101	Q2
16	METS	Solvent and media effects on the photophysics of cranad-2 and cranad-58	Renzo Zanocco, Nicole Parra, Valentina López, Nicole Guerra, Mónica Soler, Marcelo Kogan	Nicole Parra	Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	03/08/2024	doi.org/10.1016/j.jphotonchem.2024.115935	Q2
17	P2mc	Development of a Miniaturized 2-Joule Pulsed Plasma Source Based on Plasma Focus Technology: Applications in Extreme Condition Materials and Nanosatellite Orientation	Leopoldo Soto, Cristian Pavez, José Pedreros, Jalaj Jain, José Moreno, Patricio San Martín, Fermín Castillo, Daniel Zanelli, Luis Altamirano	Leopoldo Soto, Cristian Pavez, Jalaj Jain, José Moreno, Patricio San Martin	Micromachines	08/08/2024	doi.org/10.3390/mi15091123	Q2
18	DRTeC	Metals in street dusts near industrial areas: the Quintero-Puchuncaví-Concón case, Chile	Alejandra Vega, Cinthya Leiva, Carolina Marcial, Sandra Cortés, Pablo Pastén	Carolina Marcial	Environmental Health Publishing	25/08/2024	doi.org/10.1289/isee.2024.0490	Q1
19	P2mc	Numerical simulations of temperature anisotropy instabilities stimulated by suprathermal protons	Shaaban Mohammed, Rodrigo López, Marian Lazar, Stefan Poedts	Rodrigo López	Astronomy & Astrophysics	19/08/24	doi.org/10.1051/0004-6361/202348780	Q1
20	CTNEV	Effect on the antioxidant properties of native Chilean endemic honeys treated with ionizing radiation to remove American foulbrood spores	Enrique Mejías, Carlos Gómez, Tatiana Garrido	Enrique Mejías	Foods	24/08/2024	doi.org/10.3390/foods13172710	Q1
21	P2mc	Fully Kinetic Simulations of Proton-Beam-Driven	Luca Pezzini, Andrei Zhukov, Fabio Bacchini, Giuseppe Arró, Rodrigo	Rodrigo López	The Astrophysical Journal	26/08/2024	doi.org/10.3847/1538-4357/ad7465	Q1

		Instabilities from Parker Solar Probe Observations	López, Alfredo Micera, María Elena Innocenti, Giovanni Lapenta					
22	P2mc	Correlations in classical non-equilibrium systems and their connection with temperature	Sergio Davis	Sergio Davis	Journal of Physics: Conference Series	30/08/2024	doi.org/10.1088/1742-6596/2839/1/012008	Sin cuartil
23	P2mc	Effect of RF acetylene plasma on the composition and dynamics of a titanium plasma plume in a plasma enhanced pulsed laser deposition system	Heman Bhuyan, Miguel Escalona, R. Villegas, E. Mal, M. Cisternas, P. Saikia, Biswajit Bora, Siddhartha Sankar, E. Wyndham, M. Favre	Biswajit Bora	Optics and Laser Technology	12/09/2024	doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.111803	Q1
24	P2mc	Regulation of solar wind electron temperature anisotropy by collisions and instabilities	Peter Yoon, Chadi Salem, Kristopher Klein, Mihailo Martinovic, Rodrigo Lopez, Jungjoon Seough, Muhammad Sarfraz, Marian Lazar, Shaaban Shaaban	Rodrigo López	The Astrophysical Journal	12/09/2024	doi.org/10.3847/1538-4357/ad7b09	Q1
25	CTNEV	Sweet cherry response in absorption and mobility to 10B applied to soil and flowers under two soil boron conditions	G. Arredondo, Claudia Bonomelli, Adriana Nario, Ximena Rojas, Patricia Gaete	Adriana Nario, Patricia Gaete	Journal of Plant Nutrition and Soil Science	05/10/2024	doi.org/10.1002/jpln.202400098	Q1
26	P2mc	Quasi-linear analysis of proton-cyclotron instability	Peter Yoon, Rodrigo López, Jungjoon Seough, Muhammad Rashid, Chadi Salem, Muhammad Sarfraz Marian Lazar, Shaaban Mohammed	Rodrigo López	The Astrophysical Journal	13/10/2024	doi.org/10.3847/1538-4357/ad86be	Q1
27	METS	Sustainable grease lubrication induced by graphene oxide and LiFePO4	Dario Zambrano, Jessica Gutiérrez, Cristian Castillo, Javier Marqués, Nicole Parra, Julio Urzúa, Andreas Rosenkranz	Nicole Parra, Julio Urzúa	Advanced Engineering Materials	15/10/2024	doi.org/10.1002/adem.202401762	Q1
28	CTNEV	Dehydration tolerance rather than avoidance explains drought resistance in zoysiagrass	Emma Simpson, Eduardo Haverroth, Matthew Taggart, Moab Andrade, Daniel Villegas, Esdras Carbajal, Leonardo Oliveira, David Suchoff, Susana Milla-Lewis, Amanda Cardoso	Daniel Villegas	Physiologia Plantarum	29/10/2024	doi.org/10.1111/ppl.14622	Q1

29	CTNEV	Newly Established Blueberry Plants: The Role of Inorganic Nitrogen Forms in Nitrogen and Calcium Absorption	María Arias, Adriana Nario, Krystel Rojas, Poulette Blanc, Claudia Bonomelli	Adriana Nario, Poulette Blanc	Horticulturae	30/10/2024	doi.org/10.3390/horticulturae10111168	Q1
30	P2mc	Decoding the formation of hammerhead ion populations observed by Parker Solar Probe	Shaaban Mohammed, Marian Lazar, Rodrigo López, Peter Yoon, Stefaan Poedts	Rodrigo López	Astronomy & Astrophysics	13/11/2024	doi.org/10.1051/0004-6361/202452205	Q1

ANEXO 2

Proyectos de Investigación

Cuadro de Proyectos Postulados en 2024

Nº	Nombre del proyecto	Jefe del proyecto	Centro / Depto	Institución Beneficiaria	Participación CCHEN	Otras instituciones participantes	Fondo / versión	Fecha postulación
1	Regeneration strategy of the native endemic melliferous forest to mitigate the effect of fires on honey production in Chile	Enrique Mejías	CTNEV	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Recuperación Incendios Forestales 2023	10-01-2024
2	Circular Lithium: innovation in extraction, application and recycling for a sustainable energy transition	Julio Urzúa	METS	CCHEN	Beneficiaria	Universidad Autónoma Universidad de Chile	ANID / Anillos de investigación temáticos 2024 en Litio y Salares	11-01-2024
3	Ionizing radiation shielding flexible materials: a dialogue among nuclear physics, nanoscience and polymer science for comprehensive technological development	Héctor Aguilar	CEFNEN	U. de Concepción	Asociada		ANID / Anillo de tecnología 2024	11-01-2024
4	Public Molecular Imaging Center, Chile (P-MICE)	Leopoldo Soto	P2mc	CCHEN	Beneficiaria	UDD, U. Mayor, U. de Atacama, U. de Chile, UMCE, U. de los Andes, U. de Concepción, ISP, PUC	ANID / Fondequip Mayor 2024	30-01-2024
5	Optical communication system for current and future space missions	Esteban Vera	P2mc	PUCV	Asociada		ANID / Fondequip Mayor 2024	30-01-2024
6	High-Energy Laser as an Experimental Platform for the Study of Matter in Extreme Conditions	Julio Valenzuela	P2mc	PUC	Asociada		ANID / Fondequip Mayor 2024	30-01-2024

7	Modernización tecnológica para la purificación de salmueras de litio: Aumento de eficacia y valor agregado al producto nacional	Julio Urzua	METS	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Concurso IDeA I+D Tecnologías Avanzadas 2024	14-03-2024
8	Aseguramiento de 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	CTNEV	CCHEN	Beneficiaria	SAG, INIA	Ministerio de Agricultura / Convocatoria nacional proyecto de innovación de bienes públicos - bienes privados en sistemas alimentarios sostenible 2023-2024-fase 2	28-03-2024
9	Reutilización avanzada de baterías EV (electric vehicle) para la acumulación estacionaria	Carolina Parra	DRTeC	Fundación Chile	Asociada	-	Corfo/ Entidades receptores de I+D	13-05-2024
10	Universidad Autónoma de Chile, aportando al desarrollo económico territorial: fortaleciendo el investigar para innovar y transferir	María Luisa Valenzuela	METS	Universidad Autónoma	Asociada	-	ANID / InES I+D 2024	14-05-2024
11	Espectrofotómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) con triple cuadrupolo (ICP-QQQ) con capacidad de MS/MS, para fortalecer y ampliar el desarrollo de investigaciones en ámbitos de salud, medio ambiente, minería y agricultura	Patricia Gaete	DRTeC	CCHEN	Beneficiaria	PUC	ANID / FONDEQUIP Mediano 2024	22-05-2024
12	Plataforma de espectrometría gamma con detector de germanio hiperpuro de alta eficiencia relativa para la identificación y cuantificación de radionúclidos de período de semidesintegración corto y medio	Francisco Agüero	DRTeC	CCHEN	Beneficiaria	USACH	ANID / FONDEQUIP Mediano 2024	22-05-2024

13	Adquisición de un equipo para caracterización de comportamiento mecánico de materiales a altas temperaturas	Cristian González Billault	PEC	Universidad de Chile	Asociada	-	ANID / FONDEQUIP Mediano 2024	22-05-2024
14	Expansión de las capacidades de cómputo de alto rendimiento para el apoyo y fortalecimiento de la investigación inter- y multidisciplinaria de la macrozona norte	Alberto Martínez Quezada	METS	Universidad Arturo Prat	Asociada	-	ANID / FONDEQUIP Mediano 2024	22-05-2024
15	Forjando nuevas fronteras: interacciones entre láseres de alta intensidad, sólidos y plasma para la generación y diagnóstico de materia en condiciones extremas	Gonzalo Avaria	P2mc	U. Federico Santa María	Asociada	-	ANID / FONDEQUIP Mediano 2024	22-05-2024
16	Adquisición de plataforma de bioimpresión 3D Reg4Life para la generación de constructores naturales y sintéticos en el contexto de drug delivery, organoides y terapia celular	Sebastián San Martín	CINASB	U. de Valparaíso	Asociada	-	ANID / FONDEQUIP Mediano 2024	22-05-2024
17	Procesos estocásticos para modelar ecuaciones cinéticas en plasma	Ignacio Tapia	P2mc	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-05-2024
18	Chitosan sponges functionalized with ketone groups for solid-state hydrogen (H ₂) storage and transport	Nicole Parra	METS	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-05-2024
19	New materials for SOFC cathodes, a theoretical and experimental approach	Merlys Borges	METS	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-05-2024
20	Recovery of valuable metals from copper tailings of Chile's III and IV regions, through chemical and metallurgical processes, to increase the industry's added value and advance towards sustainable mining	José Joaquín Hernández	METS	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-05-2024

21	Study of a novel hybrid PEEK-PEI multi-layer polymer matrix carbon fiber-reinforced composite material for high-performance purposes: Mechanical characterization, and repairing potential after low-velocity impacts	Sebastián Toro	PEC	USACH	Aportante	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-05-2024
22	Edad, origen y tiempo de tránsito de fuentes de agua en ecosistemas mediterráneos del centro de Chile	Guillermo Barrientos	DRTeC CTNEV	U. Católica del Maule	Aportante	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-05-2024
23	Impact of pulsed radiation on chromatin structure and gene expression in colorectal cancer cells	Rodrigo Andaur	P2mc	U. de Chile	Aportante	-	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-05-2024
24	Vinculación Chile-México para la creación de una red de fortalecimiento de las capacidades de fitomejoramiento en el contexto de crisis climática	Patricia Peñaloza	CTNEV	PUCV	Asociada	-	ANID / Fomento a la vinculación internacional 2024	13-06-2024
25	RE-Waste: Red de investigadores en reciclaje electrónico	Karem Gallardo	METS	U. Autónoma	Asociada	-	ANID / Fomento a la vinculación internacional 2024	13-06-2024
26	Red para la investigación en biomarcadores aplicados a diagnóstico y terapia con radiaciones ionizantes	Ethel Velásquez	CINASB	CCHEN	Beneficiaria	UFRO, U. Autónoma de Zacatecas	ANID / Fomento a la vinculación internacional 2024	13-06-2024
27	Radiopriming: a novel approach to induce radio stimulation in 3 plant species of agricultural importance through combined exposure to ionizing energies	Daniel Villegas Guillermo Toro	CTNEV	CCHEN	Beneficiaria	CEAF	ANID / Concurso Proyectos de Exploración 2024	25-06-2024
28	Isotopic technology for sustainable synergic agricultural and aquaculture practices for mitigating hunger by 2050	Andrea Rivas Adriana Nario	CTNEV	CCHEN	Beneficiaria	U. San Sebastián	ANID / Concurso Proyectos de Exploración 2024	25-06-2024

29	Connecting the dots between soil geo-chemistry anomalies and health: Comprehensive environmental epidemiological research on chronic non-transmissible disease mortality in the O'Higgins Region, Chile	Ana Valdés Manuel Leiva	CTNEV	CCHEN	Beneficiaria	U. de Chile	ANID / Concurso Proyectos de Exploración 2024	25-06-2024
30	Innovation in lithium metal production: electrowinning process using mixtures of ionic liquids as electrolytes	Julio Urzúa Luis Ballesteros	METS	CCHEN	Beneficiaria	U. Autónoma	ANID / Concurso Proyectos de Exploración 2024	25-06-2024
31	A novel scale laboratory for nuclear fusion and astrophysical research: developing the tabletop quasi-spherical pulsed plasma compressor	Leopoldo Soto Felipe Asenjo	P2mc	CCHEN	Beneficiaria	UAI	ANID / Concurso Proyectos de Exploración 2024	25-06-2024
32	Exploration of cold atmospheric plasma technologies in cancer research: search for low-dose-hyper-radio-sensitivity alike phenomenon	Biswajit Bora Jalaj Jain	P2mc	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Concurso Proyectos de Exploración 2024	25-06-2024
33	Study and characterization of the axial dynamics of plasma fusion in a low-energy plasma focus discharge during the pinch and post-pinch phases	Cristian Pavez	P2mc	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
34	Study of the interplay of kinetic-scale instabilities and turbulence in collisionless plasmas	Rodrigo López	P2mc	CCHEN	Beneficiaria	-	ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
35	Functionalized reticular phosphazenes: A new extraction system applied to the recovery of Rare Earths	María Luisa Valenzuela	METS	Universidad Autónoma	Beneficiaria secundaria		ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
36	Use of sedimentological, mineralogical, and geochemical approaches for the study of sediments in lake, wetland and coastal environments in Central Chile: Elaboration of a baseline	Katja Deckart	CTNEV	Universidad de Chile	Beneficiaria secundaria		ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024

	for the detection of environmental crimes							
37	Design, synthesis, and characterization of novel functionalized-pillararenes as metallosupramolecular extractants for the recovery of lanthanides (III) from solid and liquid waste generated in the mining industry	Rodrigo Montecinos	DRTeC	Pontificia Universidad Católica de Chile	Beneficiaria secundaria		ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
38	AI-Powered UHF diagnostics: Investigating radiated electromagnetic emissions in pulsed plasma discharges	Gonzalo Avaria	P2mc	Universidad Técnica Federico Santa María	Beneficiaria secundaria		ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
39	Lanthanides-borates-based elastomer nanocomposites using specialty and conventional rubbers as matrices for flexible neutron shielding to the development of leading-edge technologies	Héctor Aguilar	CEFNEN	Universidad de Concepción	Beneficiaria secundaria		ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
40	Innovative insights into T-Nb2O5 for advanced energy storage: A molecular dynamics study	Joaquín Peralta	P2mc	Universidad de Andres Bello	Beneficiaria secundaria		ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
41	Advanced characterization and photovoltaic potential of CuNbS3 chalcogenide perovskites	Claudia Loyola	P2mc	Universidad de Andres Bello	Beneficiaria secundaria		ANID / Fondecyt Regular 2025	11-07-2024
42	Reconversión tecnológica de relaves: innovación para la minería secundaria y gestión sostenible de pasivos ambientales	Guillermo Vidal	METS	CIMS-JRI	Coejecutora	-	Programas Tecnológicos de reconversión de pasivos ambientales	04-09-2024
43	Desarrollo de un sistema de alerta temprana geoquímico ambiental para el control de fuentes contaminantes en la actividad minera	Ana Valdés	CTNEV	CCHEN	Beneficiaria principal	U. de Chile	ANID / FONDEF IDeA 2025	12-09-2024

44	Nuevos cultivos ornamentales para agregar valor a la industria de viveros: obtención de fenotipos sobreexcedentes utilizando gammamutagénesis	Kooichi Vidal	CTNEV	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	Beneficiaria secundaria		ANID / FONDEF IDeA 2025	12-09-2024
45	CCHEN 360°: Plan de Fortalecimiento de aplicaciones nucleares para un Desarrollo Sostenible	Luis Huerta	CCHEN	CCHEN	Beneficiaria principal	-	Corfo / Fortalecimiento de ITP: Etapa implementación	08-10-2024
46	Miel chilena: una plataforma pública para el registro e identificación de la autenticidad y el origen	Enrique Mejías	CTNEV	CCHEN	Beneficiaria	INIA SAG INDAP Federación Red Apícola Nacional F.G. Red Apícola Nueva Imperial Red Apícola de la Región de Los Ríos Cooperativa Mieles del Sur (Los Lagos)	FIA / Convocatoria nacional de proyectos de innovación de bienes públicos e interés privado para el agro con énfasis regional 2024-2025	26-11-2024
47	Innovación digital para estimación de factores de emisión de GEI en cultivos: piloto en tomate industrial en O'Higgins	Jorge Pérez	CTNEV	Universidad de Chile	Asociada	Chilealimentos (Asociación de Empresas de Alimentos de Chile)	FIA / Convocatoria nacional de proyectos de innovación de bienes públicos e interés privado para el agro con énfasis regional 2024-2025	26-11-2024

ANEXO 3

Proyectos de Investigación (datos al 31/12/ 2024)

Nº	Nombre del proyecto	Jefe/a proyecto	Contraparte CCHEN	Centro I+D / Universidad	Fondo / Versión	Fecha de Adjudicación	Monto
1	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	Daniel Villegas	CTNEV / INFOR	ANID / Concurso IDeA I+D 2024	25-03-2024	\$85.712.490
2	Public-Molecular Imaging Center, Chile (P-MICE)	Leopoldo Soto	-	P2mc	ANID / FONDEQUIP Mayor 2024	12-07-2024	\$948.523.874
3	Optical communication system for current and future space missions	Esteban Vera	Leopoldo Soto	P2mc / PUCV	ANID / FONDEQUIP Mayor 2024	12-07-2024	\$950.000.000
4	Modernización tecnológica para la purificación de salmueras de litio: Aumento de eficacia y valor agregado al producto nacional	Julio Urzúa	-	METS	ANID / Concurso I+D Tecnologías Avanzadas 2024	25-07-2024	\$496.368.000
5	Universidad Autónoma de Chile, aportando al desarrollo económico territorial: fortaleciendo el investigar para innovar y transferir	María Luisa Valenzuela	Julio Urzúa	METS / U. Autónoma	ANID / InES I+D 2024	19-08-2024	\$990.000.000
6	Reconversión tecnológica de relaves: innovación para la minería secundaria y gestión sostenible de pasivos ambientales	Guillermo Vidal	José Joaquín Hernández	METS / CIMS JRI	Corfo / Programas Tecnológicos de reconversión de pasivos ambientales	30-10-2024	\$136.800.000
7	Edad, origen y tiempo de tránsito de fuentes de agua en ecosistemas mediterráneos del centro de Chile	Guillermo Barrientos	Macarena Meneses	DRTeC - CTNEV / U. Católica del Maule	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-12-2024	\$90.000.000
8	New materials for SOFC cathodes, a theoretical and experimental approach	Merlys Borges	-	METS	ANID / Fondecyt Iniciación 2025	31-12-2024	\$90.000.000
9	CCHEN 360°: Plan de Fortalecimiento de aplicaciones nucleares para un Desarrollo Sostenible	Luis Huerta	-	CCHEN	Corfo / Fortalecimiento de ITP: Etapa implementación	13-12-2024	\$1.500.000.000

Proyectos adjudicados en 2024

ANEXO 4

Proyectos de Investigación (datos al 31/12/ 2024)

Proyectos en ejecución en 2024

Cartera	Título del proyecto	Jefe/a proyecto	Centro I+D	Fecha de Inicio	Fecha de término
OIEA CRP	Transferencia de radionúclidos en ambientes áridos y semiáridos para la estimación del Impacto Radiológico Ambiental	Adriana Nario	CTNEV	Enero 2022	Enero 2025
OIEA ARCAL	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	Enero 2022	Enero 2025
OIEA CHI	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	Enero 2022	Enero 2025
OIEA CHI	Uso de radiación y técnicas para mejoramiento genético.	Daniel Villegas	CTNEV	Enero 2024	Enero 2027
OIEA CHI	Fortalecimiento de capacidades nacionales para la generación y uso de tejidos radioesterilizados de calidad clínica para el tratamiento de patologías de alto impacto en la salud y calidad de vida	Ethel Velásquez	CINASB	Enero 2024	Diciembre 2025
Fondecyt Regular 2021	Investigación fundamental en dispositivos Plasma focus de baja energía en régimen de alta emisión de neutrones.	Cristian Pavez	P2mc	Marzo 2021	Marzo 2025
Fondecyt Regular 2021	Propulsor de plasma miniaturizado para nanosatélites CubeSat	Leopoldo Soto	P2mc	Marzo 2021	Marzo 2025
Fondecyt Regular 2022	Mecánica Estadística Bayesiana: Teoría y herramientas computacionales para sistemas fuera del equilibrio con interacciones de largo alcance	Sergio Davis	P2mc	Marzo 2022	Marzo 2026
Fondecyt Regular 2022	Estudios de medición simultánea de espectroscopía de neutrones de rayos cósmicos y variables locales en todo Chile	Francisco Molina	CEFNEN	Marzo 2022	Marzo 2026
Fondecyt Iniciación 2022	Extracción simultánea de magnesio y boro para la obtención de salmueras de litio de alta pureza utilizando un nuevo líquido iónico como extractante.	Julio Urzua	METS	Marzo 2022	Marzo 2025
Fondecyt Iniciación 2023	Investigación sobre los 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	Marzo 2023	Marzo 2026
Fondecyt Iniciación 2023	Monte Carlo transiente en un reactor nuclear de investigación con precursores de neutrones beta individuales retardados y comparación con experimentos dependientes del tiempo en reactores	Jaime Romero	CEFNEN	Marzo 2023	Marzo 2026
FONDEQUIP Mediano 2023	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	Maria José Inestrosa	METS	Diciembre 2023	Junio 2027
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	José Moreno	P2mc	Marzo 2024	Marzo 2028
FONDEF IDeA 2024	Radiación ionizante para mejorar la germinación y el crecimiento inicial de plantas de especies forestales nativas vulnerables (palma chilena, queule, belloto del sur, quillay) frente al cambio climático	Daniel Villegas	CTNEV	Abril 2024	Abril 2026

FONDEQUIP Mayor 2024	Public Molecular Imaging Center, P-MICE	Leopoldo Soto	P2mc	Agosto 2024	Agosto 2028
I+D Tecnologías Avanzadas 2024	Modernización tecnológica para la purificación de salmueras de Litio: aumento de eficiencia y valor agregado al producto nacional	Julio Urzua	METS	Septiembre 2024	Septiembre 2028
Programas tecnológicos reconversión de pasivos ambientales (Corfo)	Reconversión tecnológica de relaves: Innovación para la minería secundaria y gestión sostenible de pasivos ambientales	José Joaquín Hernández	METS	Diciembre 2024	Diciembre 2029
OIEA CHI	Fortalecimiento de una red nacional de cooperación en el uso de técnicas nucleares en programas de fitomejoramiento	Daniel Villegas	CTNEV	Enero 2024	Enero 2027
Fondo Chile-México	Tecnologías nucleares y biotecnológicas para mejorar la sustentabilidad de ecosistemas forestales afectados por el cambio climático en México y Chile	Daniel Villegas	CTNEV	Octubre 2024	Octubre 2026

ANEXO 5

Proyectos de Investigación (datos al 31/12/ 2024)

Resumen Montos Terceros por Fuente de financiamiento adjudicada 2024

Fuente de financiamiento	Monto adjudicado Fuente financiamiento	Aporte Pecuniario CCHEN	Gastos Administración/Overhead
ANID/Corfo/FIA	\$2.113.142.364	\$229.877.364	\$128.568.000
ITP Corfo	\$1.500.000.000	-	-
Otros	\$91.634.000	-	-